



AWMF-Register Nr.	187-063	Klasse:	S2k
-------------------	---------	---------	-----

Diagnostik und Therapie osteoporotischer thorakolumbaler Wirbelfrakturen

S2k-Leitlinie

der

Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V.



und

Sektion Wirbelsäule der DGOU e.V. (mit-federführend)
Deutsche Wirbelsäulengesellschaft e.V. (mit-federführend) (DWG)
Orthopädische Gesellschaft für Osteologie e.V. (OGO)
Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie e.V. (DGOOC)
Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU)
Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie e.V. (DGNC)
Deutsche Gesellschaft für Geriatrie e.V. (DGG)
Dachverband Osteologie e.V. (DVO)
Deutsche Gesellschaft für Allgemeinmedizin und Familienmedizin e.V. (DEGAM)
Deutsche Gesellschaft für Schmerzmedizin e.V. (DGS)
Dt. Schmerzgesellschaft e.V. (DGSS)
Deutscher Verband Ergotherapie e.V. (DVE)
Bundesverband für Ergotherapeut:innen Deutschland e.V. (BED)
Deutsche Röntgengesellschaft e.V. (DRG)
Deutsche Gesellschaft für interventionelle Radiologie e.V. (DeGIR)

Deutsche Gesellschaft für Nephrologie e.V. (DGfN)
Deutsche Gesellschaft für Neuroradiologie e.V. (DGNR)
Deutscher Verband für Physiotherapie e.V. (ZVK)



Deutscher Verband für
Physiotherapie (ZVK) e.V.



Herausgebende

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie e.V. (DGOU)

Straße des 17. Juni 106-108

10623 Berlin

Tel.: 030 – 340 60 36 15

leitlinien@dgou.de

www.dgou.de

Koordination:

Prof. Dr. Max J. Scheyerer

Federführender Autor:innen:

Prof. Dr. Max J. Scheyerer

PD Dr. Klaus J. Schnake

Prof. Dr. Ulrich Spiegl

PD. Dr. Bernhard Ullrich

Mitwirkende Autor:innen

Sandra von der Höh

PD Dr. med. Nicolas von der Höh

Marion Riehle

Prof. Dr. med. René Schmidt

Dr. med. Michael Müller

Univ.Prof. Dr. med. Uwe Maus

PD Dr. med. Koroush Kabir

Prof. Dr. med. Georg Osterhoff

Dr. med. Gregor Schmeiser

Prof. Dr. med. Christoph-Eckhard Heyde

Prof. Dr. med. Yu-Mi Ryang

Dr. Sebastian Katscher

PD Dr. med. Cornelius Jacobs

Prof. Dr. med. Patrick Strube

Prof. Dr. med. Frank Hartmann

Prof. Dr. med. Michael Scherer

Dr. med. Lucas Krischer

Mandatsträger:innen

Prof. Dr. med. Max Scheyerer

Prof. Dr. med. Ulrich Spiegl

PD Dr. med. Nicolas von der Höh

PD Dr. med. Bernhard Ullrich

Prof. Dr. med. Uwe Maus

Prof. Dr. med. Yu-Mi Ryang

Sabrina Heizmann

Volker Brünger

Marianne Korinth

Peter Böhm

Prof. Dr. med. Michael Drey

Prof. Dr. med. Ralf Schmidmaier

Prof. Dr. med. Andreas Kurth

Prof. Dr. med. Erika Baum

Dr. med. Günther Egidi

Dr. med. Kay Niemier

Christin Greve

Nico Sanning

Dr. med. Daniela Kildal

Prof. Dr. med. Markus Ketteler

PD Dr. med. Nico Sollmann

Prof. Dr. med. Thomas Baum

Carl Christopher Büttner

Prof. Dr. med. Christoph Trumm

Dr. med. Thorsten Luecke

Bitte wie folgt zitieren:

Deutsche Gesellschaft für Orthopädie Und Unfallchirurgie e.V.
Diagnostik und Therapie osteoporotischer thorakolumbaler Wirbelfrakturen
Version 1.0 vom 04.02.2025

<https://register.awmf.org/de/leitlinien/detail/187-063#anmeldung>

Zugriff am:

Inhaltsverzeichnis

HERAUSGEBENDE	3
1. ALLGEMEINES	7
1.1. EPIDEMIOLOGIE	7
1.2. KLINISCHE SCORES UND KLASSEFİKATION	8
1.2.1 OF-KLASSEFİKATION	9
1.2.2 OF-SCORE	11
1.3. ICD-10 KODIERUNG	13
2. PRÄKLINISCHES MANAGEMENT	16
2.1 NOTFALLMAßNAHMEN UND TRANSPORT	16
3 DIAGNOSTIK	17
3.1. KLINISCHE UNTERSUCHUNG	17
3.1.1 ANAMNESE	17
3.1.2 INSPEKTION	19
3.1.3 NEUROLOGISCHE UNTERSUCHUNG	19
3.1.4 FUNKTIONELLE UNTERSUCHUNG	20
3.1.5 KLINISCHE ASSESSMENTS	20
3.1.6 SCHMERZBEURTEILUNG	21
3.2. BILDGEBENDE UNTERSUCHUNGEN	22
3.2.1 KONVENTIONELL-RADIOLOGISCHE DIAGNOSTIK	22
3.2.2 COMPUTERTOMOGRAPHIE	24
3.2.3. MAGNETRESONANZTOMOGRAPHIE	26
3.2.4. DUAL-X-RAY-ABSORPTIOMETRIE (DXA)	28
3.3. DIAGNOSE UND THERAPIE DER OSTEOPOROSE	28
4. THERAPIEEMPFEHLUNGEN BEI OSTEOPOROTISCHEN WIRBELKÖRPERFRAKTUREN	29
4.1. KONSERVATIVE BEHANDLUNG	29
4.1.1 BETTRUHE	30
4.1.2 SCHMERZTHERAPIE	31
4.1.3 INFILTRATIONSBEHANDLUNGEN	32
4.1.4 ANTIOSTEOPOROTISCHE THERAPIE	32
4.1.5 PHYSIKALISCHE UND PHYSIOTHERAPEUTISCHE MAßNAHMEN	33
4.1.6 ERGOTHERAPIE	34
4.1.7 ORTHESENVERSORGUNG	36
4.1.8 KLINISCHE UND RADIOLOGISCHE VERLAUFSKONTROLLEN BEI KONSERVATIVER THERAPIE	37
4.1.9 RISIKOFAKTOREN FÜR CHRONISCHE SCHMERZEN UND FUNKTIONSEINSCHRÄNKUNGEN BEI KONSERVATIVEN THERAPIE	39
5. OPERATIVE BEHANDLUNG	46
5.1 OPERATIONSZEITPUNKT BEI NEUROLOGISCHEN DEFIZITEN	48
5.2 ZEMENTAUGMENTATIONSTECHNIKEN OHNE INSTRUMENTIERUNG	49
5.2.1 VERTEBROPLASTIE	50
5.2.2 KYPHOPLASTIE	52
5.2.3 STENT-VERTEBROPLASTIE	55
5.3 DORSALE INSTRUMENTIERENDE VERFAHREN	55

5.4 VENTRALE INSTRUMENTIERENDE VERFAHREN	56
5.5 KOMBINIERTES DORSOVENTRALES VERFAHREN	58
5.5.1 WIRBELKÖRPERERSATZ UND DORSALE FIXATION	58
5.5.2 HYBRIDFIXATION	59
5.6 IMPLANTATE	61
5.6.1 INTRAVERTEBRALE IMPLANTATE	61
5.6.2 IMPLANTATE ZUR VERBESSERTEN FIXATION IM OSTEOPOROTISCHEN KNOCHEN	63
5.7. PROPHYLAKTISCHE ZEMENTAUGMENTATION ZUR VERMEIDUNG VON ANSCHLUSSFRAKTUREN	66
5.8 POSTOPERATIVE BEHANDLUNG	69
5.9 RISIKEN UND FRÜHKOMPLIKATIONEN	70
5.9.1 MAJORKOMPLIKATIONEN	70
5.9.2 ZEMENTLECKAGE	70
5.9.3 ANSCHLUSSFRAKTUR	70
5.9.4 KLINISCHE UND RADIOLOGISCHE VERLAUFSKONTROLLEN BEI OPERATIVER THERAPIE	72
6. WEITERBEHANDLUNG	73
6.1 VERLAUFSBEURTEILUNG UND THERAPIEREVALUATION	73
6.1.1 RADIOLOGISCHES BEHANDLUNGSERGEBNIS	73
6.1.2 SCHMERZ	74
6.1.3 INVALIDITÄT UND FUNKTION	74
6.1.4 GESUNDHEITSBEZOGENE LEBENSQUALITÄT (HRQOL)	75
6.2 SPÄTKOMPLIKATIONEN	76
6.2.1 MORTALITÄT	76
6.2.2 WIRBELKÖRPERFRAKTUREN UND FRAKTUREN AUßERHALB DER WIRBELSÄULE	77
6.2.3 KYPHOTISCHE DEFORMITÄT	78
6.2.4 RESTRIKTIVE PULMONALE FUNKTIONSTÖRUNG	78
6.2.5 CHRONIFIZIERUNG POSTOPERATIVER SCHMERZEN	79
6.3 REHABILITATION	79
6.3.1 ZIEL DER REHABILITATION	80
6.3.2 ZEITPUNKT DER REHABILITATION	80
6.3.3 EINRICHTUNG	80
7. PROGNOSE	81
7.1 SCHMERZEN UND MEDIKATION	81
7.2 CHIRURGISCHE KOMPLIKATIONEN	82
7.3 ALLGEMEINE KOMPLIKATIONEN	82
7.4 ANSCHLUSSFRAKTUREN	83
7.5 SAGITTALES PROFIL	84
7.6 MORTALITÄT	85
8. TABELLENVERZEICHNIS	86
9. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	86
10. LITERATURVERZEICHNIS	87

1. ALLGEMEINES

1.1. Epidemiologie

Osteoporose ist heute eine der häufigsten Erkrankungen der älteren Bevölkerung. Eine der wichtigsten klinischen Folgen ist das Auftreten verschiedener Knochenbrüche.

Besonders hervorzuheben sind vertebrale Kompressionsfrakturen. Jedes Jahr werden in Europa bis zu 400.000 derartiger Wirbelkörperfrakturen diagnostiziert, wobei besonders alte Patient:innen betroffen sind (1). Die tatsächliche Inzidenz dürfte allerdings wesentlich höher liegen. Für die Industrienationen wird angenommen, dass 20% der über 50-jährigen Frauen eine osteoporotische Wirbelkörperfraktur erleiden, weltweit sogar 30-50% aller Menschen im entsprechenden Kollektiv (2, 3). Die Prävalenz steigt mit dem Alter: in der Gruppe der 50-jährigen beträgt sie 5 bis 20 % und steigt auf > 50 % in der Gruppe der über 80-Jährigen (4, 5). In Deutschland ist die Inzidenz für lumbale Frakturen um +21% und für thorakale Frakturen um +32% zwischen 2009 und 2019 angestiegen. Bei einer Prävalenz von 47874 lumbalen und 28057 thorakalen Frakturen im Jahr 2019 in Deutschland betrugen die Verhältnisse < 70 Jahre und >=70 32/68 bzw. 35/65(6).

Die Hauptrisikofaktoren sind neben einfachen Stürzen das Alter, weibliches Geschlecht, Immobilität, Bewegungsarmut, Zigarettenkonsum und eine Steroidtherapie. Bedingt durch den demografischen Wandel ist in den nächsten Jahren von einer weiteren Zunahme osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen auszugehen.

Noch heute werden die Folgen für Patient:innen mit dieser Frakturform unterschätzt. So führen sie neben den lokalen Veränderungen zu einem Strukturwandel des jeweiligen Bewegungssegments mit zunehmender Kyphosierung der Wirbelsäule. Insbesondere durch die damit verbundene frakturbedingte Ventralisation des Körperschwerpunktes ist ein erhöhtes Drehmoment über der Fraktur die Folge. Konsekutiv stellt sich eine erhöhte Druckbelastung der angrenzenden Endplatten ein.

Unabhängig von der Behandlungsmodalität besteht als Folge ein etwa drei- bis fünffach erhöhtes intrinsisches Risiko eine erneute Fraktur an anderer Stelle zu erleiden. In der Regel ist hiervon der direkt angrenzende kraniale Wirbelkörper betroffen (7).

Zudem bedarf es zur Aufrechterhaltung des Gleichgewichtes einer vermehrten Beanspruchung der posterioren muskulären wie auch ligamentären Elemente, was zu einer Imbalance sowie Insuffizienz der autochthonen Rückenmuskulatur führt.

Neben einer allgemeinen Progredienz der Schmerzsymptomatik bewirkt diese Veränderung eine Einschränkung des Atemvolumens, eine Einschränkung der Lebensqualität, eine Verminderung der Ganggeschwindigkeit und eine zunehmende Immobilisation (8). So zeigten klinische Untersuchungen eine Abnahme des Tidalvolumens um 9 % pro frakturierten Wirbelkörper der thorakalen Wirbelsäule [24].

Die schwerwiegenden Folgen spiegeln sich in der von Gold bereits 1996 beschriebenen Abwärtsspirale wieder (9). Er postulierte, dass die bruchbedingten Veränderungen zu einer Abnahme der Vitalkapazität der Lunge, einer Einschränkung der Beweglichkeit und weiterem Knochenabbau mit konsekutivem Auftreten neuer Frakturen führt. Das Ergebnis ist eine deutlich erhöhte Sterblichkeit. Laut Johnell et al. beträgt die 5-Jahres-Mortalitätsrate nach Wirbelfrakturen 72 %. Im Vergleich dazu ist die Rate nach Hüftfrakturen mit 59 % ebenfalls hoch, aber deutlich niedriger (10).

Auch sozioökonomischen Folgen sind aktuell unterschätzt. So belaufen sich die Krankenhauskosten pro Wirbelkörperfraktur und Patient:in ohne Berücksichtigung poststationäre Folgekosten oder ambulanter Behandlungen auf rund 4000 Euro im europäischen Durchschnitt (1).

Daher ist eine suffiziente Behandlung und Prävention unerlässlich, um die Lebensqualität zu erhalten und einen komplizierten Verlauf wie von Gold beschrieben zu vermeiden. Allerdings sind in diesem speziellen Patient:innenkollektiv auch die mit der Behandlung einhergehenden Komplikationen zu bedenken, wobei neben den allgemeinen Operationsrisiken auch die mittel- bis langfristigen Folgen hervorzuheben sind (11).

1.2. Klinische Scores und Klassifikation

Die Osteoporose kann bei einer Sinterungs- bzw. Insuffizienzfraktur Ursache einer Wirbelkörperfraktur sein oder als Komorbidität bei traumatischen Frakturen auftreten. Morphologisch lassen sich die beiden Ätiologien nicht voneinander unterscheiden.

Klassifikationen für osteoporotische Frakturen existieren bereits seit über 50 Jahren, jedoch haben bisher nur wenige davon Einzug in die klinische Routine erhalten.

Genant et al. beschrieben 1993 eine morphologische Klassifikation, die sich ausschließlich auf Sinterungsfrakturen bezieht und diese in 3 Grade unterteilt (12). Dabei werden die veränderte Form des Wirbels und die Reduktion der Wirbelkörperhöhe berücksichtigt. Diese dient ausschließlich als Risikofaktor für die Beurteilung weiterer osteoporoseassoziierter Frakturen und nicht als Indikation für eine Operation. Die Genant Klassifikation wird im osteologischen Bereich verwendet (siehe auch DVO-Leitlinie Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose) (13). Aus chirurgischer Sicht hat die Klassifikation nach Genant nur eine geringe prognostisch-therapeutische Aussage, da sie nicht die Instabilität der Frakturen berücksichtigt.

Aus diesem Grund wurden und werden im chirurgischen Bereich zahlreiche Klassifikationen verwendet, die aber entweder nicht spezifisch für osteoporotische Frakturen entwickelt wurden (z.B. AO-Magerl Klassifikation, AO Spine Klassifikation) oder sich im klinischen Alltag nicht flächendeckend durchsetzen konnten (14-17).

1.2.1 OF-Klassifikation

Im deutschsprachigen Raum wird zunehmend die OF-Klassifikation zur Einteilung der osteoporotischen Frakturen angewandt (18-20). Diese, in einem validierten Konsensusprozess der AG Osteoporotische Frakturen der DGOU entwickelte Klassifikation, besteht aus 5 Untergruppen (OF 1 bis OF 5) und basiert auf dem konventionellen Röntgen, der MRT- und der CT-Untersuchung (*Abbildung 1*).

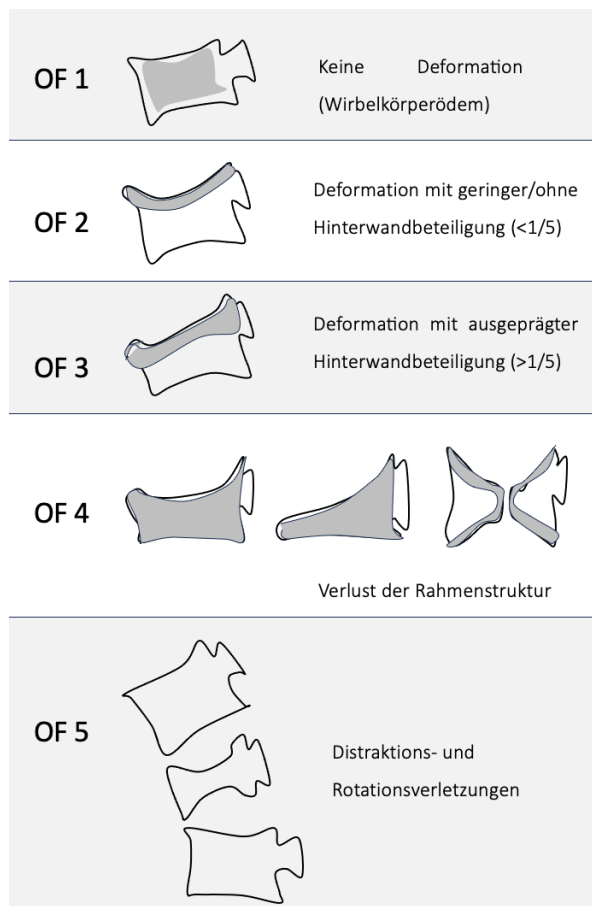


Abbildung 1: OF Klassifikation mit 5 Untergruppen (20)

Für die Klassifizierung wird die Anfertigung einer CT oder alternativ einer MRT bei jeder im konventionellen Röntgenbild sichtbaren Formveränderung des Wirbels empfohlen. Die MRT kann auch bei unklarer Situation zur Frakturidentifikation bzw. Bestimmung des Frakturalters erfolgen. Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen können bei nicht-operativer Behandlung im Verlauf ihre Form im Sinne einer zunehmenden Sinterung und Instabilität verändern und somit in der OF-Untergruppierung aufsteigen. Dies kann mittels radiologischer Verlaufskontrollen im Stehen erkannt werden (21)

Die Frakturtypen OF 2, OF 3 und OF 4 stellen 95% aller Frakturen dar. OF 1 und OF 5 sind mit jeweils 2,5% nur selten anzutreffen.

Der OF-Klassifikation liegt eine moderate bis substanzielle Interrater-Reliabilität zugrunde. Reliabilitätsüberprüfungen der Entwickler, aber auch unabhängiger Untersucher ergaben eine

Interrater-Reliabilität von 0,59 bis 0,62 und eine Intrarater- Reliabilität von 0,35 bis 0,74 (22-24)

1.2.2 OF-Score

Die Entscheidung, ob eine osteoporotische Wirbelkörperfraktur konservativ oder operativ behandelt werden kann, hängt von verschiedenen klinischen und radiologischen Faktoren ab. Neben dem Grad der Instabilität der Fraktur, welche mit der OF-Klassifikation eingeschätzt werden kann, sind klinische Parameter und Befunde zu berücksichtigen. Besondere Bedeutung kommen dabei dem Schmerzniveau und der Mobilisation des typischerweise geriatrischen Patient:innenguts unter adäquater Analgesie zu. Beide Parameter sind auch indirekte Hinweise auf den Grad der Instabilität der Fraktur. Frakturbedingte neurologische Defizite stellen einen erheblichen Trigger für eine operative Behandlung dar, kommen jedoch nur in ca. 2,5% aller betroffenen Patient:innen vor (25).

Ein T-Score von kleiner als -2,95 stellt ein erhöhtes Risiko für das Scheitern einer konservativen Therapie dar (26). „Scheitern“ soll hier wie auch im Weiteren wie folgt definiert sein: anhaltende Schmerzen, funktionelle Einschränkungen und andere schwerwiegende Komplikationen wie Pseudarthrose, Wirbelkollaps, neurologische Ausfälle und kyphotische Deformität.

Auch eine Zunahme der lokalen Wirbelkörperdeformität, sichtbar in den oben schon genannten konventionell-radiologischen Verlaufskontrollen im Stehen, stellt einen Hinweis auf eine anhaltende Instabilität und das Risiko des Scheiterns einer konservativen Therapie dar (26).

Aber auch operative Interventionen können bei entsprechenden Komorbiditäten mit einem erhöhten perioperativen Risiko für Komplikationen assoziiert sein. Daher bedarf es einer gründlichen Abwägung (27).

Zur Abschätzung dieses Risikos können Faktoren wie die ASA-Klassifikation (ASA: American Society of Anesthesiologists), Untergewicht, eine aktive Blutgerinnungshemmung, eine bekannte Demenz und vorbestehende Unselbstständigkeit dienen. Auch die Gruppierung einiger dieser Faktoren in sogenannten Gebrechlichkeits-Indizes (frailty-index) stellt eine objektive Möglichkeit zur Risikoabschätzung dar (27).

Die Arbeitsgemeinschaft „Osteoporotische Frakturen“ der DGOU hat auf Basis der oben genannten Punkte einen Score zur Indikationsfindung entwickelt (**Tabelle 1**) (19).

Tabelle 1: OF Score zur Indikationsfindung

Merkmal	Schweregrad	Punkte
Morphologie (OF 1-5)	1-5	2-10
Knochendichte	T-Score < -3	1
Dynamik der Sinterung (Beurteilung nach mindestens 1 Woche)	Ja, Nein	1, -1
Schmerz (unter Analgesie)	VAS ≥ 4 , <4	1, -1
Neurologie (frakturbedingt)	Ja	2
Mobilisation (unter Analgesie)	Nein, Ja	1, -1
Gesundheitszustand	ASA >3, Demenz, BMI <20, Unselbständigkeit, aktive Gerinnungshemmung	Je -1, maximal -2

Legende: Ist ein Merkmal nicht zu beurteilen bzw. unbekannt, werden 0 Punkte vergeben.

Konservative Therapie bei <6 Punkten,

Empfehlung 1:		Neu Stand 2024
Der OF Score sollte zur Therapiefindung verwendet werden. Eine konservative Therapie ist bei einem Punktwert von <6 indiziert. Eine relative OP-Indikation liegt bei 6 Punkten, eine OP-Indikation bei >6 Punkten vor.		
Konsensstärke	86 %	
Sondervotum der DEGAM	Der OF Score sollte zur Therapiefindung mitverwendet werden. In der Regel ist bei einem Punktwert von <6 eine konservative Therapie indiziert. <u>Streichung:</u> Eine relative OP-Indikation liegt bei 6 Punkten, eine OP-Indikation bei >6 Punkten vor. <u>Begründung:</u> Der Score und seine differenzierte Auswirkung auf den weiteren Verlauf ist unzureichend evaluiert. Differenzierte Aussagen zur Differential-Therapie gehören nicht in diesen Abschnitt und sind später genannt. Eine positive OP-Empfehlung, die fest an einen OF-Score gekoppelt ist, steht im Gegensatz zur evidenzbasierten Empfehlung	

	dazu in der S3-Leitlinie des DVO zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei postmenopausalen Frauen und bei Männern ab 50 Jahre
--	--

Die im OF-Score genannten Parameter werden individuell überprüft und die zugeordneten Punkte entsprechend vergeben. Ist ein Merkmal nicht zu beurteilen bzw. unbekannt, werden 0 Punkte vergeben. Beträgt das Gesamtergebnis weniger als 6 Punkte, wird eine konservative Therapie empfohlen. Bei genau 6 Punkten kann operativ oder konservativ behandelt werden. Bei mehr als 6 Punkten liegt laut Score eine Operationsindikation vor. Die Art der operativen Therapie richtet sich dann nach der OF-Klassifikation und den dazu gehörigen Empfehlungen.

Eine multizentrische Evaluation des OF-Scores mit 518 untersuchten Patient:innen aus 17 deutschsprachigen Zentren ergab, dass Patient:innen mit einer OF-Score konformen Therapie zumindest im kurzfristigen Follow-up bis zu 5±3.5 Monaten klinisch signifikant profitierten und in der Regel das Ausmaß ihrer ehemaligen Mobilität vor der Fraktur wieder erreichten (25).

1.3. ICD-10 Kodierung

Die Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision, German Modification (ICD-10-GM) unterliegt einer jährlichen Überprüfung durch das DIMDI (Deutsches Institut für Medizinische Dokumentation und Information) und wird jährlich aktualisiert. Die Aktualisierung ist dann von Anfang des Jahres bis zum Jahresende gültig (28, 29).

1.3.1 Atraumatische osteoporotische Frakturen der Wirbelsäule (Bagateltrauma)

M80.08	Postmenopausale Osteoporose mit pathologischer Fraktur der Wirbelsäule
M80.18	Osteoporose mit pathologischer Fraktur nach Ovariectomie der Wirbelsäule
M80.28	Inaktivitätsosteoporose mit pathologischer Fraktur der Wirbelsäule
M80.38	Osteoporose mit pathologischer Fraktur infolge Malabsorption nach chirurgischem Eingriff der Wirbelsäule

M80.48	Arzneimittelinduzierte Osteoporose mit pathologischer Fraktur der Wirbelsäule
M80.58	Idiopathische Osteoporose mit pathologischer Fraktur der Wirbelsäule
M80.8-	Sonstige Osteoporose mit pathologischer Fraktur der Wirbelsäule
M80.98	Nicht näher bezeichnete Osteoporose mit pathologischer Fraktur der Wirbelsäule

1.3.2 Wirbelkörperfrakturen mit adäquater traumatischer Genese

Halswirbelsäule

S12.0	Fraktur des 1. Halswirbels Atlasfraktur Fraktur des 1. Halswirbels
S12.1	Fraktur des 2. Halswirbels Axisfraktur Densfraktur des 2. Halswirbels Fraktur des 2. Halswirbels Fraktur des Dens axis
S12.21	Fraktur des 3. Halswirbels
S12.22	Fraktur des 4. Halswirbels
S12.23	Fraktur des 5. Halswirbels
S12.24	Fraktur des 6. Halswirbels
S12.25	Fraktur des 7. Halswirbels
S12.7	Multiple Frakturen der Halswirbelsäule
S12.8	Fraktur sonstiger Teile im Bereich des Halses Fraktur der Cartilagine tracheales Fraktur der Cartilago cricoidea Fraktur der Knorpelspannen der Luftröhre Fraktur des Tracheaknorpels Kehlkopffraktur Larynxfraktur Ringknorpelfraktur Schildknorpelfraktur

	Tracheafraktur
	Zungenbeinfraktur
S12.9	Fraktur im Bereich des Halses, Teil nicht näher bezeichnet
	Bogenwurzelfraktur der Halswirbelkörper
	Fraktur der zervikalen Wirbelsäule
	Fraktur eines zervikalen Dornfortsatzes
	Fraktur eines zervikalen Querfortsatzes
	Fraktur eines zervikalen Wirbelbogens
	Fraktur eines Zervikalwirbels
	Halsfraktur
	Halswirbelfraktur
	Halswirbelsäulenfraktur
	HWS-Fraktur
	Offene Halsfraktur
	Zervikale Fraktur
Brustwirbelsäule	
S22.00	Fraktur eines Brustwirbels: Höhe nicht näher bezeichnet
S22.01	Fraktur eines Brustwirbels: T1 und T2
S22.02	Fraktur eines Brustwirbels: T3 und T4
S22.03	Fraktur eines Brustwirbels: T5 und T6
S22.04	Fraktur eines Brustwirbels: T7 und T8
S22.05	Fraktur eines Brustwirbels: T9 und T10
S22.06	Fraktur eines Brustwirbels: T11 und T12
S22.1	Fraktur eines Brustwirbels: Multiple Frakturen der Brustwirbelsäule
Lendenwirbelsäule	
S32.00	Fraktur eines Lendenwirbels: Höhe nicht näher bezeichnet
S32.01	Fraktur eines Lendenwirbels: L1
S32.02	Fraktur eines Lendenwirbels: L2
S32.03	Fraktur eines Lendenwirbels: L3

S32.04 Fraktur eines Lendenwirbels: L4

S32.05 Fraktur eines Lendenwirbels: L5

2. PRÄKLINISCHES MANAGEMENT

Die Dringlichkeit einer Intervention richtet sich nach einem evtl. neurologischen Defizit, dem Ausmaß der Beschwerden und der damit verbundenen Immobilität.

Empfehlung 2:		Neu Stand 2024
<i>Bei Patient:innen über 65 Jahren bzw. bei Vorliegen spezifischer Risikofaktoren soll das Vorliegen einer Osteoporose bereits präklinisch immer in Betracht gezogen werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

2.1 Notfallmaßnahmen und Transport

Auch bei einem Unfallereignis erfolgt initial eine Eigen- und Fremdanamnese zum Unfallhergang, um die Energie und Mechanik des Traumas abschätzen zu können. Die Beurteilung und Dokumentation soll nach standardisierten Algorithmen, z.B. nach dem ATLS® Prinzipien(30), erfolgen. Neben den Vitalparametern die in den Kategorien A (Airway), B (Breathing) und C (Circulation) abgearbeitet werden, folgt an vierter Stelle D (Disability). Unter D werden neurologische Störungen erfasst.

Die S3-Leitlinie: Polytrauma/Schwerverletzten-Behandlung empfiehlt bei bestehenden neurologischen Defiziten und nicht auszuschließenden Instabilität eine Immobilisierung auf einer Vakuummatratze bzw. einer speziellen Lagerungshilfe für die Wirbelsäule (31). Weiter ist empfohlen, dass bei vorbestehender Deformierung (z.B. Morbus Bechterew) diese nicht reponiert werden und der/die Patient:in in der entsprechenden Stellung gelagert werden soll. Wissenschaftliche Daten zum Transport von Patient:innen mit osteoporotischen Frakturen ebenso wie zur Wahl der entsprechenden Zielklinik existieren bisher jedoch nicht.

3. DIAGNOSTIK

Alle Maßnahmen richten sich in erster Linie nach dem Allgemeinzustand und den Beschwerden des Patient:innen. Durch die Anamnese, Untersuchung und Diagnostik erfolgt die Einschätzung der Dringlichkeit und der Interventionsnotwendigkeit bei Aufnahme und täglich im klinischen Verlauf.

3.1. Klinische Untersuchung

3.1.1 Anamnese

Empfehlung 3:		Neu Stand 2024
<i>Im Rahmen der Anamnese sollen Informationen zu Dauer, Lokalisation und Intensität des Rückenschmerzes gesammelt werden. Auch gilt es zu evaluieren, ob die Beschwerden spontan aufgetreten sind, oder durch ein ggf. auch länger zurückliegendes Sturzereignis verursacht wurden.</i> <i>Gezielt sollte auch nach neu aufgetretenen neurologischen Störungen, Taubheitsgefühlen und Lähmungen gefragt werden, stets unter Berücksichtigung vorbestehender demenzieller/neurologischer Erkrankungen oder Stoffwechselentgleisungen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Belastungsabhängigkeit der Schmerzen lenkt den Verdacht auf eine Instabilität. Spezifische Beschwerdekompenzationsverhalten wie beispielsweise Gehpausen mit Vornüberbeugen an z.B. einer Sitzbank oder einem Einkaufswagen deuten auf eine Dekompensation einer Spinalkanalstenose hin.

Neben diesen rügenspezifischen Informationen ist die Erhebung von Vorerkrankungen essentiell. So weisen Patient:innen über 65 Jahren in bis zu 80% der Fälle eine chronische Erkrankung auf. In der Altersgruppe der 70- bis 90-Jährigen liegen meist 5 – 10 Dauerdiagnosen vor. Typische Komorbiditäten sind dabei kardiovaskuläre Erkrankungen, Diabetes mellitus, COPD, Nierenfunktionsstörungen und demenzielle Erkrankungen (32).

Weiterer Bestandteil der Anamnese ist die Pharmakotherapie. Nicht selten nehmen geriatrische Patient:innen 10 oder mehr gleichzeitig verabreichte Wirkstoffe ein (33). Im Idealfall sind Medikamentenlisten und/oder aktuelle Behandlungsberichte des Patient:innen verfügbar. Alternativ kann auch eine Pflegedokumentation oder ein pflegerischer Verlegungsbericht die notwendigen Informationen enthalten.

Im Falle eines ursächlichen Sturzes ist im Rahmen der Sturzanamnese zwischen extrinsischen - in der Umwelt begründeten - und intrinsischen - im Patient:innen begründeten - Ursachen zu unterscheiden.

Weiterer Bestandteil der Anamnese ist die Frage nach vorbestehenden Wirbelsäulenerkrankungen sowie die Abklärung etwaiger „Red Flags“. Auch Informationen über die soziale Situation sind zu berücksichtigen.

Wirbelsäulenspezifische Anamnese

- Ankylosierende Erkrankungen
- Vorbestehende Deformitäten
- Degenerative Veränderungen
- Bisherige Behandlung der Wirbelsäulenverletzung
- Bisherige Behandlung unfallunabhängiger Wirbelsäulenbeschwerden

Allgemeine Anamnese

- Metabolische Knochenerkrankungen
- Osteoporose
- Relevante neurologische Vorerkrankungen
- Tumoranamnese
- Infektionen
- Rheumatische Erkrankungen
- Thrombosen, Embolien
- Allergien, speziell Medikamenten- und Metallallergien

- Medikamenteneinnahme, besonders gerinnungshemmende Medikamente (z.B. DOAK, Vitamin-K-Antagonisten), Cortison, Antidiabetika
- Abklärung der funktionellen und sozialen Situation vor dem Unfall

Die vier häufigsten anamnestischen Befunde bei Menschen mit frakturbedingten Kreuzschmerzen waren die Einnahme von Kortikosteroiden, ein Alter über 70 Jahre, ein vorausgegangenes Trauma (z. B. ein Sturz) sowie Prellungen oder Abschürfungen im Rumpfbereich (34).

3.1.2 Inspektion

Die klinische Untersuchung beginnt mit der Inspektion. Hierbei können bei Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen folgende Auffälligkeiten beobachtet werden:

- Zunehmende Kyphosierung der Brustwirbelsäule
- Deutliche Abnahme der Körpergröße (kurzfristig >2cm, langfristig >5cm) mit Rumpfverkürzung
- vorgewölbter Bauch
- relative Überlänge der Extremitäten
- unterer Rippenbogen kann den Beckenkamm schmerzhaft berühren
- typische Hautfalten vom Rücken zu den Flanken („Tannenbaumphänomen“)
- unsicheres und kleinschrittiges Gangbild.

3.1.3 Neurologische Untersuchung

Darüber hinaus bedarf es der Erhebung eines neurologischen Status. Dieser ist auch für die Dokumentation einer evtl. Verschlechterung erforderlich. Zur Dokumentation neurologischer Defizite steht das ASIA-ISCOS-Formular (https://asia-spinalinjury.org/wp-content/uploads/2019/04/ASIA-ISCOS-IntlWorksheet_2019.pdf) zur Verfügung. Das Formular enthält Anleitungen zur Klassifikation von Transversalsyndromen nach ASIA A (komplette Lähmung) bis E (regelrechter Neurostatus).

3.1.4 Funktionelle Untersuchung

Die Beweglichkeitsprüfung umfasst die Beweglichkeit der Brust- (Ott-Maß) und Lendenwirbelsäule (Schober-Maß, Finger-Boden-Abstand). Typisch sind belastungsinduzierte und positionsabhängige Rückenschmerzen, wobei im Liegen oftmals keine oder nur geringe Beschwerden angegeben werden.

Beim Vorliegen von Frakturen imponiert häufig eine Klopfschmerzangabe über den Dornfortsätzen des betroffenen Wirbelsäulenabschnitts bei teils fehlender oder gering ausgeprägter lokaler Druckschmerzangabe. Aber auch fortgeleitete, meist tieflumbal lokalisierte Schmerzen sind möglich. Zusätzlich kann ein Stauchungsschmerz beim Fersenfalltest positiv sein.

Empfehlung 4:		Neu Stand 2024
<i>Eine Untersuchung der gesamten Wirbelsäule bei Frakturverdacht soll immer erfolgen, um klinische Hinweise auf das Vorliegen weiterer Frakturen nicht zu übersehen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

3.1.5 Klinische Assessments

Der Timed Up and Go Test ist gut geeignet, die aktive Mobilisationsfähigkeit zu beurteilen und Veränderungen derselben im Verlauf zu dokumentieren (35).

Der aus fünf Kategorien bestehende modified Frailty index (mFI5) ist geeignet, das Risiko für Komplikationen im Falle einer operativen Behandlung einzuschätzen. Der Index hat sich im Bereich der elektiven Wirbelsäulenchirurgie bewährt, wurde aber auch in Bezug auf die Kyphoplastie evaluiert (36).

Auch bietet der EQ-5D-5L eine reliable Option die Lebensqualität von Patient:innen mit thorakolumbalen osteoporotischen Wirbelfrakturen zu beurteilen. Insbesondere korreliert das Item Depression mit einem schlechteren klinischen Outcome.

Ein weiterer, heutzutage weit verbreitete Score zur Bewertung des funktionellen Status und der Beeinträchtigung der Lebensqualität bei Patient:innen mit Rückenschmerzen sowie Rückenmarksverletzungen bzw. –erkrankungen ist der Oswestry Disability Index (ODI). Der ODI besteht aus 10 Items. Jeder Abschnitt hat sechs Antwortmöglichkeiten, die mit Punkten von 0 bis 5 bewertet

werden. Die sich ergebende Punktzahl wird dann mit 100 multipliziert, um einen Prozentsatz zu erhalten. Desto höher dieser ausfällt, desto schwerer die Behinderung (37).

Empfehlung 5:		Neu Stand 2024
<i>Zur Dokumentation des Eingangsbefundes und zur Verlaufsbeurteilung sollte bei geriatrischen Patient:innen, soweit valide durchführbar, der Timed Up and Go Test und der EQ 5D 5L erhoben werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

3.1.6 Schmerzbeurteilung

Schmerz ist auch das häufigste Symptom osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen. Deshalb ist die Schmerzreduktion zur Verbesserung des Patient:innenwohls ein zentrales Behandlungsziel. Zur Dokumentation des Verlaufes und etwaiger Veränderungen des Schmerzzustandes kommt im klinischen Alltag eine numerische Rating-Skala (NRS) von 0-10 zur Anwendung. Die ebenfalls häufig verwendete visuelle Analogskala (VAS) ist insbesondere für ältere Patient:innen nicht geeignet und aufgrund eines zusätzlich notwendigen Auswertungsschrittes zeitaufwendiger und fehleranfällig.

Für die genaueren Ausführungen zur Schmerzbeurteilung verweisen wir auf die AWMF Leitlinie zur Behandlung akuter perioperativer und posttraumatischer Schmerzen (38)

Empfehlung 6:		Neu Stand 2024
<i>Im Rahmen der Schmerzbeurteilung sollte eine dezidierte Schmerzanamnese durchgeführt werden, die auf die spezifischen Gesichtspunkte geriatrischer Patient:innen Rücksicht nimmt. Sind Patient:innen nicht in der Lage, den NRS anzugeben, sollte dies an für NRS- Erfassung typischer Stelle in der Kurve dokumentiert und numerische Werte dann auch nicht eingetragen werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

3.2. Bildgebende Untersuchungen

Eine gesicherte Diagnose basiert neben den zuvor genannten klinischen Symptomen und Befunden auf radiologischen Befunden. Ziel ist es dabei, durch eine adäquate Diagnostik die Zeit bis zur Therapieeinleitung zu verkürzen sowie den Therapieverlauf zu dokumentieren.

Auch ist der Nachweis einer stattgehabten Fraktur wesentlich, um das Frakturrisiko mit dem DVO (Dachverband Osteologie) Algorithmus oder anderen international üblichen und im Gegensatz zum DVO-Algorithmus validierten Scores bestimmen zu können (13, 335-339).

Zur bildgebenden Diagnostik stehen verschiedene Techniken zur Verfügung:

- Konventionelle radiologische Diagnostik
- Computertomographie (CT)
- Magnetresonanztomographie (MRT)
- DXA Scan
- qCT
- Szintigrafie

3.2.1 Konventionell-radiologische Diagnostik

Die Diagnostik bei Verdacht auf eine Fraktur beginnt meist mit konventionellen Röntgenaufnahmen- idealerweise bei stehenden Patient:innen. Im Hinblick auf eine bestehende Osteoporose sind dabei klassische Befunde eine erhöhte Strahlentransparenz des Knochens mit Verlust der horizontalen Linien und konsekutiv verstärkter vertikaler Trabekeln, eine Reduktion der kortikalen Dicke sowie die Betonung der Deck- und Grundplatten sind Hinweise für das Vorliegen einer Osteoporose. Das Vorliegen von Deckenplattenimpressionsfrakturen stellt hingegen ein zuverlässiges Spätzeichen der manifesten Osteoporose dar. Die Frakturen können keilförmig, konkav, bikonkav oder komplett zusammengesenkt im Sinne eines Vertebra plana in Erscheinung treten (15).

Statement 7:		Neu Stand 2024
<i>Indikationen für die Durchführung konventionell radiologischer Aufnahmen können sein: akute, neu aufgetretene, starke und/oder über Tage unverändert anhaltende umschriebene Rückenschmerzen bei entsprechendem Frakturverdacht, eine chronische spinale Schmerzsymptomatik, die bislang noch keine Abklärung erfahren hat, sowie ein auffälliger klinischer Untersuchungsbefund. Auch ein plötzlich eingetretener Größenverlust von ≥ 5 cm gegenüber jungem Erwachsenenalter, ein Größenverlust um >2 cm bei Verlaufsuntersuchungen, niedrige Knochendichtewerte und mehrere spinale Vorfrakturen sind Indikationen für die Durchführung einer radiologischen Bildgebung des entsprechend schmerzenden Wirbelsäulenbereichs.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Empfehlung 8:		Neu Stand 2024
<i>Die konventionell-radiologischen Röntgenaufnahmen sollen - wann immer möglich - am stehenden Patient:innen erfolgen, um dynamische Deformitäten und Lastübertragungen besser erkennen zu können.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Die Sensitivität von konventionell-radiologischen Aufnahmen im Rahmen der Diagnostik osteoporotische Frakturen liegt bei 51,3 %, die Spezifität bei 75,0 %. Probleme ergeben sich besonders in der Frühphase osteoporotischer Sinterungsfrakturen. Hier kann bei Fehlen einer entsprechenden Sinterung der Nachweis durch eine nativ-radiologische Untersuchung mitunter erschwert sein (39, 40).

Die Erfassung von Wirbelkörperfrakturen ist essenziell, da die Bestimmung des Risikos für Wirbelfrakturen im DVO Algorithmus sowie anderen international üblichen Scores wie FRAX und QFracture risk score Zielparameter in der Berechnung des Frakturrisikos ist und Wirbelkörperfrakturen das Frakturrisiko nachhaltig erhöhen, das Wissen um prävalente Wirbelfrakturen wichtig in der Risikobestimmung ist und das Frakturrisiko nach klinischer wie klinisch inapparenter Wirbelkörperfraktur im selben Ausmaß erhöht liegt (13).

Daher bedarf es für die Identifikation einer Wirbelkörperfraktur auf konventionellen Röntgenaufnahmen bestimmter Kriterien, um zwischen einer Wirbelkörperfraktur und einer anderen vertebrealen Deformität zu differenzieren. In diesem Zusammenhang sei auf den „Spinal Fracture Index (SFI)“, „Spinal Deformity Index“ (SDI), „Vertebral Deformity Index“ (VDI) sowie den „Radiological Vertebral Index“ (RVI) hingewiesen (12, 41).

Dennoch bleibt festzuhalten, dass mit der konventionell radiologischen Bildgebung Frakturen lediglich in 24,8 % der Fälle korrekt diagnostiziert werden (42, 43). Bei klinischem dringenden Frakturverdacht sind weitere Schnittbilduntersuchungen (MRT, CT) erforderlich. (20, 44)

Statement 9:		Neu Stand 2024
<i>Auf Grund der geringen Sensitivität der konventionell radiologischen Bildgebung sind bei klinischem dringenden Frakturverdacht weitere Schnittbilduntersuchungen (MRT, CT) erforderlich, um die adäquate Therapiestrategie festzulegen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Neben der Primärdiagnostik hat die konventionelle radiologische Bildgebung einen wichtigen Stellenwert in der Verlaufskontrolle. Zum Zeitpunkt und zur Häufigkeit klinischer und radiologischer Verlaufskontrollen konnten Abe et al. in einer prospektiven Verlaufsstudie eine persistierende Instabilität von 4,9 ° nach drei Wochen, 2,9 ° nach 6–8 Wochen sowie 1,8 ° nach 24 Wochen anhand von vergleichenden Liegend- und Stehendaufnahmen nachweisen (45).

3.2.2 Computertomographie

Die Klassifikation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen (OF-Klassifikation) beschreibt wie im Kapitel 1.3 beschrieben fünf Subtypen, wobei die Klassifikation auf der Auswertung konventioneller Röntgenaufnahmen, der Computertomographie (CT) und Kernspintomographie (MRT) beruht (20). Während Frakturen Typ OF 1 ausschließlich in der MRT diagnostiziert werden können (44), hat die CT insbesondere für die Differenzierung der Frakturtypen OF 2 – 5 eine Bedeutung (46). Anders als bei Typ OF 5 Frakturen, bei denen eine klare operative Therapieempfehlung besteht (44, 47), ist die exakte bildmorphologische

Differenzierung der Frakturtypen OF 2 – 4 für die frühzeitige Festlegung eines konservativen oder operativen Therapieregimes relevant (44, 46, 48). Hieraus ergibt sich die Indikation zur Durchführung einer additiven CT-Untersuchung. Die Einschätzung der Aktivität einer Fraktur ist in der CT limitiert.

3.2.2.1 Hounsfieldunits als Surrogatparameter für die Knochenqualität

Neben der Frakturmorphologie lässt sich darüber hinaus aus den Hounsfield-Einheiten (HU) der CT-Untersuchung eine wichtige Aussage zum Knochenstatus generieren ohne zusätzliche Strahlenbelastung für die Patient:innen und unter Vermeidung zusätzlicher Kosten (49, 50). Ältere Arbeiten zeigten hier bereits eine signifikante Korrelation zwischen den T-Werten der DXA-Messung und den HU des gleichen Wirbelkörpers, ebenso wie zwischen niedrigen HU und dem Frakturrisiko des Wirbelkörpers sowie der Sinterungsgefahr von intervertebral platzierten Cages (51-53). Auch konnten eine gute Inter- und Intraraterreliabilität nachgewiesen werden (54).

Etwas unterschiedliche Auffassungen bestehen in der Literatur, welche HU sich als potentieller Grenzwert für den Nachweis von Osteoporose eignen (53, 55). Zieht man die Ergebnisse von Schreiber et al. heran, liegt bei einem Wert von $100,8 \pm 24,5$ eine Osteopenie, bei $78,5 \pm 32,4$ eine osteoporotische Knochenstruktur vor (53). Andere Autor:innen definieren eine höhere Grenze für Osteopenie (L1: 159HU) sowie für Osteoporose (L1: 127HU) und zeigten eine direkte Korrelation mit dem im DXA erhobenen T Werten ($HU\ 100 = T\text{-Wert} - 2$) (56)

Neben der Befunderhebung spielt die Computertomographie eine wichtige Rolle bei der präoperativen Planung hinsichtlich Schraubendesign [14], optimierter Schraubentrajektorie (57), Schraubendurchmesser (58) sowie Implantataugmentation (59).

Empfehlung 10:		Neu Stand 2024
<i>Hounsfieldunits können unter chirurgischen Gesichtspunkten einen geeigneten Parameter zur Beurteilung der Knochenqualität darstellen.</i>		
<i>Deutlich erniedrigte Hounsfieldunit-Werte sollten bei Vorliegen einer Fraktur eine dezidierte Knochendichtemessung nach sich ziehen.</i>		
Konsensstärke	93 %	

3.2.2.2 Quantitative Computertomografie (qCT)

Die Quantitative Computertomographie ermöglicht die Messung der Knochendichte im Bereich der Lendenwirbelsäule. Sie ist ein volumetrisches Verfahren, mit dem Vorteil, dass zwischen kortikalem und spongiossem Knochen unterschieden werden kann. Die gemessenen und mit einem Kalibrierphantom verglichenen Werte werden in Gramm Hydroxylapatit (HA) pro Volumeneinheit berechnet. Werte von $>120 \text{ gHA/cm}^3$ gelten als normal, $80\text{-}120 \text{ gHA/cm}^3$ als Osteopenie und $<80 \text{ gHA/cm}^3$ als Osteoporose.

Von Nachteil ist die lange Untersuchungsdauer, eine etwa 100-fach höhere Strahlenbelastung (1 bis 3 mSv), Knochenmarksfettfehler sowie eine Artefaktbildung durch degenerative Veränderungen (60). Ein weiteres Problem ist auch hier die nur eingeschränkte Verfügbarkeit.

Neben der Bestimmung der Knochendichte vor Therapiebeginn bietet die Q-CT Untersuchung auch eine Möglichkeit zur Vorhersage des Frakturrisikos und zur Kontrolle der Knochendichte unter Therapie, wie mehrerer Reviews in der Vergangenheit bestätigen konnten (61-63). So können QCT-Messungen an den Wirbelkörpern im Hinblick auf die Frakturrisikovorhersage der DXA-Methode überlegen sein.

3.2.3. Magnetresonanztomographie

Mit Blick auf die „OF-Klassifikation“ ist eine MRT für die Detektion einer OF 1 Fraktur essentiell. Da die Rahmenstruktur des Wirbelkörpers keine klar erkennbaren Frakturzeichen aufweist, entzieht sich dieser Frakturtyp der Röntgen- und meist auch CT-Bildgebung (64). Das charakteristische Knochenödem lässt sich aber eindeutig in der short-tau-inversion-recovery (STIR)-Sequenz darstellen (44). Es konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus konventionellem Röntgen und MRT ausreichend ist, um die OF-Klassifikation reliabel anzuwenden (46).

Empfehlung 11:		Neu Stand 2024
<i>Bei unklaren Befunden oder Nachweis einer Fraktur unklaren Alters sollte eine Magnetresonanztomographie (MRT) angeschlossen werden. Bei unklarer Frakturlokalisation sollte diese die thorakale und lumbale Wirbelsäule beinhalten. In der Regel ist hierfür eine native MRT, welche sagittale Scans in T1-, T2- und sagittale bzw. coronare fettsupprimierte Sequenzen (z.B. STIR, , short-tau-inversion-recovery) beinhaltet, für die Beurteilung ausreichend. Insbesondere Sakrumfrakturen, als weitere Entität des Achsenskeletts, lassen sich auf coronaren Sequenzen identifizieren.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Auch bei der Differenzierung zwischen frischen und alten Frakturen, bzw. Bewertung der Aktivität der Fraktur, ist die STIR-Sequenz zur Detektion eines Knochenödems und frischen traumatischen Veränderungen trabekulärer Strukturen essentiell (65). Somit kann eine Aussage über das Alter vorliegender Wirbelkörperfrakturen getroffen werden (48). Auch lassen sich okkulte Frakturen darstellen, sodass eine Erweiterung der MRT auf die gesamten BWS in der Regel durchgeführt wird. Alternativ lässt sich auch durch eine szintigraphische Untersuchung eine Aussage über das Frakturalter gewinnen.

Zudem können durch die MRT in Analogie zur Computertomographie Aussagen zur Knochendichte, -qualität, -struktur und dem Frakturrisiko getroffen werden (66-68). Geeignet ist hierfür die mDIXON-Sequenz, die derzeit allerdings keine flächendeckende Anwendung im Rahmen des Osteoporose-Screenings darstellt. Studien liefern Modelle zur Anwendung von Deep-Learning-Radiomics in der automatisierten Auswertung (66).

Eine wichtige Rolle spielt die MRT-Diagnostik auch in der Differenzierung zwischen osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen und malignen Läsionen (64). Besonders geeignet hierfür ist einerseits die DIXON-Sequenz (64). Hier zeigen maligne Läsionen einen verminderten Fettanteil (fat fraction) im Vergleich zu benignen, osteoporotischen Läsionen, wobei in der Literatur unterschiedliche Cut-off Werte angegeben werden. Ferner zu beachten sind paravertebrale Weichteilvermehrungen, die in der MRT besonders gut abgrenzbar sind und Hinweis auf eine maligne Genese geben können (69)

Nicht nur maligne Läsionen sondern auch degenerative und entzündliche Veränderungen sowie Deformitäten beeinflussen das Therapieregime und das Outcome. Die präoperative MRT ist dabei geeignet, die bestehenden Veränderungen betroffener Wirbelsäulenabschnitte zu erkennen und in die Entscheidungsfindung einzubeziehen (64, 70).

3.2.4. Dual-X-Ray-Absorptiometrie (DXA)

Die Osteodensitometrie mittels der „Dual-X-Ray-Absorptiometrie“ (DXA) ist das in der Leitlinie empfohlene Standardverfahren zur Knochendichtemessung und fester Bestandteil der Basisdiagnostik bei Osteoporose (13). Dabei sind gemäß den Empfehlungen der Internationalen Gesellschaft für klinische Densitometrie (ISCD 2019) Messungen an den Lendenwirbelkörpern 1-4 - unter Ausschluss nicht auswertbarer Wirbel - und an beiden Hüften durchzuführen. Wichtig ist, dass die Ermittlung des T-Score nicht auf Basis eines einzelnen Wirbels erfolgen soll. Im DVO-Algorithmus geht nur der niedrigere der beiden an total hip gemessenen Werte ein. Bei stark abweichenden Werten an der Wirbelsäule ist allerdings eine Adjustierung empfohlen. (13).

Zu berücksichtigen sind ferner morphologische Veränderungen, welche die Auswertung beeinflussen können. In diesem Zusammenhang zu nennen sind beispielsweise Spondylophyten, Sklerosierungen, vertebrale Frakturen, degenerative Veränderungen (> Grad 2 nach Kellgren), signifikante Skoliosen und Torsionsskoliosen sowie eine ausgeprägte Gefäßsklerose.

Empfehlung 12:		Neu Stand 2024
<i>Für die Routineanwendung in der Osteoporosedagnostik soll weiterhin die DXA-Messung durchgeführt werden.</i>		
Konsensstärke	93 %	

3.3. Diagnose und Therapie der Osteoporose

Für Aussagen zur Diagnostik und Therapie der Osteoporose wird auf die Empfehlungen der Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaften e.V. (DVO) (Kapiteln 2 sowie Kapitel 5.1. – 5.5.) (13) verwiesen.

Empfehlung 13:	Neu Stand 2024
<i>Eine weiterführende Diagnostik im Hinblick auf das Vorliegen einer Osteoporose sollte zum einen bei Vorliegen einer ärztlich als relevant erachteten Risikokonstellation für Frakturen (Risikofaktoren s. Tabelle 2.1. DVO Leitlinie) bei postmenopausalen Frauen und bei Männern ab einem Alter von 50 Jahren unter Beachtung des absoluten Frakturrisikos durchgeführt werden.</i> <i>Zum anderen soll eine weitere Abklärung bei allen Frakturen ab einem Patient:innenalter von 50 Jahren, besonders bei Hinweis auf eine Fragilitätsfraktur, initiiert werden. Dies gilt auch für postmenopausale Frauen und Männer unter 50 Jahren im Rahmen der Planung einer Therapie mit Glukokortikoiden $\geq 7,5$ mg/d oder Prednisolonäquivalent > 3 Monate.</i>	
Konsensstärke	100 %

4. THERAPIEEMPFEHLUNGEN BEI OSTEOPOROTISCHEN WIRBELKÖRPERFRAKTUREN

4.1. KONSERVATIVE BEHANDLUNG

Die vorrangigen Ziele der konservativen Therapie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen sind die Linderung von Schmerzen, die frühzeitige Mobilität, die Prävention zusätzlicher Frakturen und der Erhalt der Lebensqualität (71). Dabei ist es entscheidend, eine auf die individuellen Bedürfnisse und die spezielle Situation des Patient:innen zugeschnittene Behandlung zu entwickeln.

Empfehlung 14:		Neu Stand 2024
Für die Therapieentscheidung sollte der OF-Score herangezogen werden. Generell gilt der konservative Behandlungsansatz als erste Wahl bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen der Typen OF-1, OF-2 und gegebenenfalls OF-3, sofern diese nur minimale strukturelle Änderungen des Wirbelkörpers aufweisen (Frakturen mit einem OF-Score unter 6, einem nativradiologischen Höhenverlust unter 25 % und einer Kyphose unter 25°.		
Konsensstärke	100 %	

Obwohl es noch keine internationalen Standards für die nicht-chirurgische Behandlung von osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen gibt, werden hauptsächlich fünf Therapieansätze verfolgt: Bettruhe, medikamentöse Schmerztherapie, Infiltrationstherapie, Physiotherapie und Orthesen.

4.1.1 Bettruhe

Zur initialen Bettruhe nach einer akuten osteoporotischen Wirbelkörperfraktur gibt es nach unserer Kenntnis keine randomisierten Studien. In der Literatur werden ein bis drei Tage und bis zu zwei Wochen Bettruhe diskutiert (72, 73). Eine prospektive Studie aus Japan konnte zeigen, dass eine zweiwöchige Bettruhe im Krankenhaus die Anzahl der Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen, die mit schlechten prognostischen MRT-Befunden eine Operation benötigen, verringern konnte. Die Bettruhe konnte auch unabhängig von den MRT-Befunden das Fortschreiten des Wirbelkörpereinbruchs und der Kyphose verringern (72, 74). Dennoch sollte die Bettruhe, aufgrund der damit assoziierten Komplikationen sehr restriktiv auferlegt werden. So hat Bettruhe, wie auch Immobilisation verschiedene Auswirkungen auf die Körperfunktionen der Patient:innen, welche zu gravierenden Beeinträchtigungen in der Selbständigkeit führen können (75).

So verlieren die Patient:innen durch lange Bettruhe an Muskelmasse (76), das Schlagvolumen des Herzens mindert sich und es kann zur Herabsetzung der kortikalen Erregbarkeit mit Verkleinerung von Gehirnnarealen kommen. Durch diese Reizverarmung können zusätzlich Gedächtnisstörungen sowie Antriebs- und Motivationsstörungen auftreten (75). In diesen

Fällen können ergotherapeutische Behandlungen aus verschiedenen Gründen nützlich sein: So können Patient:innen im geschützten Rahmen wieder soziale Kompetenzen sowie kognitive Funktionen trainieren und Selbstvertrauen aufbauen. Desweiteren wird die Selbstständigkeit in der Selbstversorgung, Haushaltsführung oder sozialen Interaktion gefördert (77).

Empfehlung 15:		Neu Stand 2024
<i>Bettruhe zur Therapie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen sollte aufgrund der mit ihr einhergehenden Risiken für Komplikationen und der durch sie bedingten kardiopulmonalen und muskuloskeletalen Dekonditionierung vermieden bzw. so kurz wie möglich gehalten werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

4.1.2 Schmerztherapie

Das erste Ziel der Behandlung osteoporotischer thorakolumbaler Frakturen ist die Schmerzreduktion, da nur dann eine adäquate Mobilisierung der Patient:innen erfolgen kann. Neben der medikamentösen Schmerzunterdrückung werden in der Literatur auch die schmerzarme Lagerung und ggf. die Unterstützung mit Orthesen als mögliche Therapieansätze genannt, allerdings ohne relevante Evidenz.

Da es sich bei der betroffenen Patient:innen-Gruppe fast immer um ältere Menschen mit multiplen Vorerkrankungen handelt, stellt die Auswahl der richtigen medikamentösen Analgesie allerdings eine Herausforderung dar: die in der WHO-Richtlinie zur Schmerzbekämpfung an erster Stelle stehenden nichtsteroidalen Analgetika können bei vielen Patient:innen aufgrund vorbestehender Nieren- und Herzerkrankungen nur eingeschränkt oder gar nicht zur Anwendung kommen (78).

Alternativ stehen Paracetamol als schwach wirkendes Analgetikum oder Metamizol zur Verfügung (79, 80).

Als Stufe 2 bieten sich niedrigpotente, als Stufe 3 hochpotente Opioide an, welche gerade in der Initialphase nicht selten benötigt werden. Allerdings ist die Dosierung bei älteren Menschen oft

schwierig, da bereits das therapeutische Spektrum zu erheblichen Nebenwirkungen wie Antriebslosigkeit und Somnolenz führen kann.

Eine gewisse, wenn auch schwache analgetische Wirkung konnte für Bisphosphonate im Rahmen von Wirbelkörperfrakturen dargestellt werden, allerdings nur bei intravenöser hochdosierter Applikation. Für Osteoporose-übliche Dosierungen von Bisphosphonaten und anderen fraktur-reduzierenden Osteoporosetherapeutika konnte im Langzeitverlauf eine Reduktion der Frequenz von Rückenschmerzen ebenfalls nachgewiesen werden (81-83). Unklar ist dabei allerdings, inwieweit die Reduktion durch die Vermeidung neuer vertebraler Frakturen zu erklären war.

Empfehlung 16:		Neu Stand 2024
<i>Die medikamentöse Schmerztherapie thorakolumbaler osteoporotischer Wirbelfrakturen sollte nach dem WHO-Stufenschema erfolgen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

4.1.3 Infiltrationsbehandlungen

In der Literatur wird bei akuten osteoporotischen Frakturen des dritten und vierten Lendenwirbelkörpers in den ersten zwei Wochen eine Blockade der L2-Nervenwurzel als Zusatzmaßnahme diskutiert (84). Hier zeigte sich allerdings nur in der Initialphase eine deutliche Schmerzreduktion, welche sich im Verlauf wieder relativierte. Daher kann keine routinemäßige Empfehlung ausgesprochen werden. Eine weitere Option stellen Medial-Branch-Blockaden im Bereich der Facettengelenke dar, deren Nutzen vergleichbar mit den zuvor genannten Verfahren einzuordnen ist (85).

4.1.4 Antiosteoporotische Therapie

Obwohl sich bei rechtzeitiger Diagnose und Therapieeinleitung der Knochenabbau und das damit assoziierte Frakturrisiko deutlich senken lässt, ist die Dunkelziffer der erkrankten Patient:innen aufgrund fehlender Diagnostik und mangelnder medikamentöser Behandlung

nach wie vor sehr hoch. Studien belegen beispielsweise, dass zum Zeitpunkt der Diagnose einer osteoporotischen Fraktur bis zu 80% der betroffenen Patient:innen keine Knochendichtemessung oder eine osteoporotische Therapie im Vorfeld erhalten haben (86). Aber auch nach eingetretener Fraktur ist der Anteil der korrekt diagnostizierten und therapierten Patient:innen gering (86, 87).

Hinsichtlich der Wahl einer geeigneten medikamentösen antiosteoporotischen Therapie verweisen wir auf die Empfehlungen der Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaften e.V. (DVO) (Kapiteln 9) (13).

Empfehlung 17:		Neu Stand 2024
<i>Nach osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen soll eine zeitnahe osteologische Abklärung und Beginn einer antiosteoporotischen Therapie erfolgen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

4.1.5 Physikalische und physiotherapeutische Maßnahmen

Physiotherapeutische Behandlungen gehören zu den Therapieoptionen bei Osteoporose. Ihr Nutzen zur Verbesserung der Knochenqualität, zur Schmerzreduktion, zur Optimierung der Lebensqualität sowie zur Vermeidung von Stürzen und sturzbedingten Frakturen konnte in diversen Studien belegt werden (88-92).

Empfehlung 18:		Neu Stand 2024
<i>Im Rahmen der Physiotherapie bei osteoporotischen Frakturen soll der Fokus auf Kraft- und Gleichgewichtstrainingskomponenten gelegt werden, welche mehrfach pro Woche durchgeführt werden sollen. Um einen optimalen Effekt zu erzielen, ist das Training individuell auf den Leistungszustand des Patient:innen anzupassen und im Verlauf zu steigern. Dies kann im Rahmen von Selbsthilfegruppen, Funktionstraining, Rehasport und Krankengymnastik erfolgen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Allerdings sind die Ergebnisse in der Literatur hierzu aufgrund der verschiedenen Interventionsmöglichkeiten, Unterschieden in Trainingshäufigkeit, Intensität, Länge der Trainingsperiode und der Nachbeobachtung sehr heterogen. Auch die erfassten Zielparameter unterscheiden sich häufig sehr, was einen Vergleich der Arbeiten schwierig macht (93-95).

Ähnlich ist auch die Rolle der krankengymnastischen Behandlung bei Wirbelfrakturen einzuordnen. Gleichwohl in Deutschland grundsätzlich physiotherapeutische und physikalische Maßnahmen bei Wirbelfrakturen und bei Osteoporose empfohlen werden, fehlt weiterhin eine Evidenz zur Effektivität dieser Behandlung.

In mehreren Studien konnte zwar für spezielle Endpunkte wie Gleichgewicht oder körperliche Leistungsfähigkeit ein kurzfristiger positiver Effekt nachgewiesen werden, jedoch zeigte sich, insbesondere im Langzeitverlauf, keine signifikante Verbesserung der Beschwerdesituation im Vergleich zum nichtbehandelten Kollektiv (96-99). Die kürzlich publizierte S3-Leitlinie Körperliches Training zur Frakturprophylaxe des DVO gibt hier eine wichtige Orientierung. (334) Problematisch ist auch, dass keine Studien existieren, welche nur frische osteoporotische Frakturen inkludierten. Auf der Basis klinischer Erfahrungen scheinen Patient:innen von intensiver physiotherapeutischer Behandlungen innerhalb der ersten 4 Wochen zu profitieren.

4.1.6 Ergotherapie

Bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen konzentriert sich die Ergotherapie darauf, Betroffenen zu helfen, ihre alltäglichen Aktivitäten wieder eigenständig und zufriedenstellend auszuführen. Ergotherapeut:innen analysieren, welche Tätigkeiten für die Patient:innen besonders wichtig sind, und entwickeln darauf abgestimmte Interventionen, um deren Fähigkeiten zu fördern. Ziel ist es, die Selbstständigkeit im Alltag zu verbessern und die Teilhabe am sozialen Leben zu ermöglichen, sodass die Betroffenen trotz ihrer Einschränkungen ihren Alltag, ihre sozialen Rollen und individuellen Wünsche bestmöglich ausfüllen können. Indem Ergotherapie gezielt auf die Bedürfnisse und Ziele der Patient:innen eingeht, trägt sie wesentlich zur Steigerung der Lebensqualität bei und unterstützt die Wiedererlangung von Unabhängigkeit nach einer Fraktur.

Maßnahmen der Ergotherapie, die auf Teilhabe und bestmögliche Lebensqualität abzielen, sind:

- **ADL-Beratung/-Training:** Schulung und praktische Erprobung verschiedener Alltagsaktivitäten trotz bestehender Einschränkungen (z. B. Essen, Trinken und Hygiene), um zum Beispiel Ängste vor deren Ausführung abzubauen und individuelle Kompensationsstrategien zu entwickeln. Zudem werden spezifische Anpassungen des Wohnraums beraten, um Barrieren zu minimieren und die selbstständige Lebensführung zu fördern.
- **Hilfsmittelberatung und -erprobung sowie -training:** Auswahl, Anpassung und Erprobung von Hilfsmitteln, um den Patient:innen die größtmögliche Unabhängigkeit zu ermöglichen. Dies umfasst eine genaue Analyse der persönlichen Bedürfnisse und die Erprobung der praktischen Anwendung der Hilfsmittel im Alltag.
- **Sturzprävention:** Neben individuellen Übungen, die Balance, Koordination und Kraft berücksichtigen, erfolgt in der Ergotherapie eine umfassende Beratung zur Auswahl und Anpassung geeigneter Hilfsmittel, wie beispielsweise Gehstöcke oder Rollatoren, die in der praktischen Anwendung erprobt werden. Zudem wird durch die Wohnraumberatung sichergestellt, dass potenzielle Stolperfallen im häuslichen Umfeld beseitigt und der Wohnraum so gestaltet wird, dass er die Sicherheit der Patient:innen erhöht und das Risiko für Stürze minimiert.
- **Funktionstraining und Erarbeiten von Routinen:** Förderung motorischer und sensorischer Funktionen durch gezielte Übungen, die in den Alltag integriert werden. Dies dient dazu, Routinen, die in den individuellen Alltag von Klient:innen passen, zu entwickeln und eine regelmäßige und gesundheitsfördernde Ausführung sicherstellen.
- **Psychosoziale Unterstützung:** Unterstützung zur Förderung des Wohlbefindens, der sozialen Interaktion und geistigen Stimulation. Durch die Ergotherapie können Klient*innen emotionale Stabilität finden, die soziale Isolation vermindern und kognitive Fähigkeiten durch anregende Aktivitäten verbessern.
- **Beratung zu Freizeitaktivitäten:** Anpassung und Beratung bezüglich Freizeitaktivitäten im Sinne eines gesundheitsfördernden Verhaltens. Ziel ist es, Klient:innen die Wiederaufnahme bedeutender und sinnvoller Tätigkeiten aus ihrem bisherigen Leben zu ermöglichen, die zu ihrem persönlichen Wohlbefinden beitragen.

- **Arbeitsplatztraining:** Erarbeiten von Belastungsgrenzen sowie die Entwicklung individueller Strategien, um die Arbeitsfähigkeit unter den gegebenen Einschränkungen zu erhalten oder wiederherzustellen. Dies umfasst ergonomische Anpassungen und das Training für die Bewältigung arbeitsbezogener Anforderungen. Die individuelle Arbeitsfähigkeit kann durch eine sogenannte Functional Capacity Evaluation (FCE) bestimmt werden. Die Therapie findet dabei entweder in speziell ausgestatteten Räumlichkeiten, die reale Arbeitsbedingungen simulieren, oder, falls notwendig, direkt am Arbeitsplatz im Rahmen eines Jobcoachings statt.

Bisher gibt es keine umfangreichen, randomisierten Studien zur Wirksamkeit der Ergotherapie bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. In der S2k-Leitlinie „Rehabilitation nach traumatischen Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne neurologische Ausfälle“ wird jedoch basierend auf Expertenmeinungen ein starker Konsens für die Ergotherapie ausgesprochen (100). Die Ergotherapie zielt hierin darauf ab, den Betroffenen das (Wieder-) Erlangen sinnerfüllender Alltagsaktivitäten zu ermöglichen.

4.1.7 Orthesenversorgung

Die Behandlung mit Wirbelsäulen-Orthesen basiert auf dem Prinzip der Rumpfaufrichtung nach dem 3-Punkte-Prinzip und zielt darauf ab, Drehbewegungen zu reduzieren. Dies fördert die Heilung von Frakturen, ohne die allgemeine Beweglichkeit des Patient:innen einzuschränken.

Mit Blick auf die Brust- und Lendenwirbelsäule verglichen acht prospektive Studien die Therapie mit und ohne Orthese bzw. untersuchten das Ausmaß der Immobilisierung bei unterschiedlichen Orthesentypen. Bei sechs dieser Studien handelte es sich um Level II, bei den verbliebenden beiden um Level I Studien (101-107).

Im Hinblick auf die unterschiedlichen Orthesentypen zeigte sich mit Bezug auf die Lebensqualität nach 3 und 6 Monaten ein Vorteil der Aktivorthese gegenüber eines 3-Punkt Stützkorsetts (106). Dem gegenüber steht das Ergebnis zweier anderer Studien, welche keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Orthesentypen nachweisen konnte (103).

Pfeifer et al. konnten in einer prospektiv randomisierten Studie an Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen zeigen, dass der Einsatz von Orthesen nicht nur die

Muskelkraft und Körperhaltung verbessert, sondern auch zu einer Schmerzreduktion und einer Steigerung der Lebensqualität führen kann (104). Zwei unabhängige Metaanalysen aus dem Jahr 2023 liefern in diesem Kontext keine allgemeingültige Empfehlung für die Orthesentherapie bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen (108, 109).

In der Zusammenfassung der Studie von Pieroh et al wird formuliert: „Nach Applikation einer Wirbelsäulenorthese nimmt der Schmerz über die Zeit ab und die Lebensqualität verbessert sich. Das ist jedoch nicht unterschiedlich von Patient:innen welche ohne Orthese behandelt werden.“ (109).

Empfehlung 19:		Neu Stand 2024
<i>Basierend auf den derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnissen kann eine Orthesenbehandlung nicht generell empfohlen werden.</i>		
<i>Die Entscheidung zur Orthesenbehandlung sollte individuell getroffen werden, um ggf. eine subjektive Schmerzlinderung zu erzielen sowie ein Gefühl von gesteigerter Stabilität und Sicherheit zu vermitteln. Dabei sollte aufgrund des muskelstimulierenden Effektes auf eine Aktivorthese zurückgegriffen werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Die Verordnung von Hilfsmitteln können zu einer besseren Bewältigung des Alltags beitragen. Dabei handelt es sich beispielsweise um Gehhilfen (Rollator u.ä.), Sitzserhöhgungen für Toiletten und eine Höhenanpassung des Bettes.

4.1.8 Klinische und radiologische Verlaufskontrollen bei konservativer Therapie

Die Überwachung und Verlaufskontrolle von Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelsäulenfrakturen nach konservativer oder operativer Therapie kann je nach klinischem Verlauf und individuellen Faktoren variieren. Es gibt keine spezifischen allgemeingültigen Richtlinien für den Zeitpunkt der Verlaufskontrollen nach den diversen Therapieansätzen.

Empfehlung 20:		Neu Stand 2024
<i>Klinische und radiologische Kontrollen sollen frühzeitig nach achsgerechter Mobilisation unter physiotherapeutischer Anleitung erfolgen. Diese können innerhalb einer Woche sowie nach zwei, vier und sechs Wochen erfolgen. Weitere Kontrollen nach 12 Wochen sowie 6 Monaten sind nur in Abhängigkeit des Beschwerdebildes indiziert. Wichtig ist, dass die Röntgenkontrollen des Frakturbereichs im Stehen durchgeführt werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Zu den klinischen Verlaufskontrollen gehören in den entsprechenden Intervallen neben der Erhebung der Anamnese, die Dokumentation der Schmerzintensität nach NRS oder VAS sowie der Verlauf seit der Intervention. Desweiteren beinhalten sie Fragen nach Blasen- oder Mastdarmfunktionsstörungen als Hinweise für eine Konus-Kauda-Symptomatik und eine gründliche klinische Untersuchung mit Dokumentation von Druck- oder Klopfschmerzen, fortgeleiteten Schmerzen, Provokationsschmerzen oder Nervendehnungsschmerzen als Hinweise für eine Nervenwurzel- oder spinale Affektion.

Wichtig ist dabei auch die Reevaluation des OF-Scores, insbesondere inwieweit einfließende Faktoren eine Änderung erfahren haben. Hierzu zählen klinische und radiologische Parameter wie die Dynamik der Frakturkyphose, die Schmerzintensität, neurologische Symptome, Mobilität und die Knochendichte (Verweis OF-Score). Bleibt der Score bei weniger oder gleich 5 Punkten ist eine konservative Therapie weiterhin indiziert.

Empfehlung 21:		Neu Stand 2024
<i>Bei den Verlaufskontrollen sollte bei konservativer Therapie der OF-Score bei Veränderungen der Basisfaktoren neu berechnet werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Empfehlung 22:		Neu Stand 2024
<i>Im Rahmen der Verlaufskontrollen nach konservativer wie auch operativer Therapie soll die Adhärenz an das Therapiekonzept einschließlich der antiosteoporotischen Medikation kontrolliert werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

4.1.9 Risikofaktoren für chronische Schmerzen und Funktionseinschränkungen bei konservativen Therapie

In den meisten Fällen osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen ist ein konservatives Vorgehen die Behandlung der Wahl. Die Ergebnisse dieses Ansatzes sind vielversprechend und führen zu einer hohen Frakturheilungsrate, einer geringen Restdeformität und einer zufriedenstellenden funktionellen Wiederherstellung. In einigen Fällen können jedoch anhaltende Schmerzen und andere schwerwiegende Komplikationen wie Pseudarthrose, Wirbelkollaps, neurologische Ausfälle und kyphotische Deformität beobachtet werden.

Um die oben genannten Gefahren zu vermeiden, ist die frühzeitige Erkennung von chronischen Schmerzen und Funktionseinschränkungen unerlässlich. In diesem Sinne haben einige klinische und radiologische Untersuchungen Risikofaktoren herausgearbeitet, die mit chronischen Schmerzen und Funktionseinschränkungen bei konservativer Behandlung assoziiert sind (26).

4.1.9.1 Patient:innenspezifische Risikofaktoren

Höheres Alter (> 78,5 Jahre), schwere Osteoporose (T-Score < -2,95), Übergewicht (BMI > 25,5) und höhere Wirbelkollapsraten (> 28,5 %) waren von Lee et al. berichtete Risikofaktoren für das Scheitern einer konservativen Behandlung (110). Zhang et al. fanden vergleichbare Ergebnisse mit unterschiedlichen Grenzwerten (111). Ihre logistische Regressionsanalyse ergab ein Alter > 73,5 Jahre, eine Knochenmineraldichte < -3,45, einen BMI > 23,65 kg/m² und einen modifizierten Frailty Index (mFI) > 2,5 (aus 11 Variablen) als Hochrisikofaktoren für ein konservatives Behandlungsversagen. 80 % der Patient:innen mit einem mFI > 3 hatten Komplikationen, die zu einer Bettlägerigkeit führten. Es gibt allerdings keine randomisierten und verblindeten Untersuchungen, die zeigen, dass das Outcome insgesamt bei operativer Therapie in dieser Population günstiger ist. Eine hohe Frailty bedeutet auch ein erhöhtes Risiko für (post-)operative Komplikationen (25, 27).

Andere Untersuchungen bestätigten, dass insbesondere das höhere Alter ein wesentlicher Risikofaktor für eine progrediente Sinterung mit konsekutiver Hyperkyphose ist (112, 113).

Inwieweit anfängliche konservative Behandlungseingriffe die Patient:innenergebnisse beeinflussen, wurde von Hoshino et al. untersucht (102). 362 Patient:innen wurden in die prospektive multizentrische Studie aufgenommen. Weibliches Geschlecht und fortgeschrittenes Alter waren mit einem SF-36-Physical Component Summary (PCS) ≤ 40 verbunden. Niedrige Ergebnisse bei der initialen Mini-Mental-State-Prüfung waren mit einem SF-36 PCS ≤ 40 und reduzierten Aktivitäten des täglichen Lebens verbunden. Die vorherige Einnahme von Steroiden war mit einem SF-36-Mental Component Summary (MCS) ≤ 40 , anhaltenden Rückenschmerzen und einem Wirbelkollaps assoziiert.

Keine Risikofaktoren für das Versagen der konservativen Therapie waren in allen eingeschlossenen Untersuchungen hingegen das Geschlecht, multiple Wirbelkörperfrakturen, die Kombination mit vorangegangenen Frakturen und die Höhe des VAS-Scores vor der Behandlung.

4.1.9.2 Frakturspezifische Risikofaktoren

Im Rahmen einer systematischen Literaturrecherche wurden frakturspezifische Risikofaktoren evaluiert. Insgesamt konnten dabei elf Studien eingeschlossen werden (26).

Vier Arbeiten untersuchten Risikofaktoren für das Auftreten neurologischer Defizite im Verlauf der Behandlung (114-116). Zwei von ihnen identifizierten eine Beteiligung der Hinterwand als einen Risikofaktor (115, 116). Weitere Faktoren waren ein anfänglicher Höhenverlust, Frakturen von „midportion type“, „swelled-front type“ als auch „dented type“ gemäß der MRT-morphologischen Einteilung nach Sugita et al.. Auch eine komplexe Frakturmorphologie, das Auftreten eines „intervertebral clefts“ (IVC), eine Frakturinstabilität sowie Frakturen am thorakolumbalen Übergang waren aufgeführt. Auf spezifische MRT-Veränderungen wird im Verlauf noch näher eingegangen (15, 114-117).

In einer anderen Untersuchung wurden Risikofaktoren für einen Wirbelkollaps und eine Beeinträchtigung des Spinalkanals untersucht, die zu neurologischen Symptomen führen (118). Die Autor:innen kamen zu dem Schluss, dass ein Höhenverlust der hinteren

Wirbelkörperareale, eine Frakturbeteiligung beider Endplatten und später erwähnte spezifische MRT-Veränderungen ein höheres Risiko darstellen.

Zwei Studien berichteten über Risikofaktoren für ein schlechtes klinisches Ergebnis, definiert als mäßige und starke Schmerzen oder einen Wirbelkollaps (15, 102). Zu den Risikofaktoren in der MRT zählten: Frakturen vom „bow-shaped type“, „projecting type“ und „swelled front type“. Hoshino et al. definierten ein schlechtes Ergebnis entweder durch einen niedrigen SF 36 Score, ein geringes Maß an Selbstständigkeit oder ein hohes Schmerzniveau. Risikofaktoren waren Hinterkantenfrakturen, im besonderen Berstungsfrakturen (102).

Drei Studien suchten nach Risikofaktoren für einen fortschreitenden Wirbelkollaps oder eine progrediente Kyphosierung (113). Von höherem Risiko waren Frakturen im Bereich des thorakolumbalen Übergang als auch jene vom „midportion type“ (119, 120). Weitere Faktoren waren das Auftreten eines IVC, A2- und A4-Frakturtyp (AO Spine Klassifikation), Hinterkantenfrakturen, eine Beteiligung der Deckplatte, Vorderwandfraktur und begleitende Frakturen der angrenzenden Wirbelkörper (113, 119-121).

Eine Studie untersuchte Risikofaktoren für die Entstehung eines IVC nach konservativer Behandlung (121): Von erhöhtem Risiko waren Frakturen mit Beteiligung der Hinterkante sowie eine vertebrale Instabilität.

Empfehlung 23:		Neu Stand 2024
<i>Eine dezidierte Analyse der Frakturform soll erfolgen, um spezifische Risikofaktoren für chronische Schmerzen und funktionelle Einschränkungen bei konservativer Therapie zu identifizieren.</i>		
Konsensstärke	88 %	

4.1.9.3 Radiologische Risikofaktoren

Konventionelle radiologische Bildgebung

Das seitliche konventionelle Röntgenbild im Stehen ist ein wichtiges diagnostisches Mittel zur Detektion einer sekundären Sinterung sowie segmentaler Kyphosierung. Der Nutzen zur Vorhersage eines Therapieversagens ist allerdings unklar. Zwei retrospektive und eine

prospektive multizentrische Untersuchung beschäftigten sich eingehender mit dieser Fragestellung, wobei zwei Risikofaktoren identifiziert werden konnten:

Zum einen das Auftreten eines IVC, welches sich in zusätzlich durchgeführten Funktionsaufnahmen oder in seitlichen Röntgenaufnahmen in hyperextendierter Rückenlage gut darstellen lässt (122). Nach den Ergebnissen einer multizentrischen Studie an 350 Patient:innen war dabei besonderes der damit verbundene Defekt der mittleren Säule der wichtigste prädiktive Faktor für eine instabile Pseudarthrose (118).

Zum anderen zeigten Nakamae et al. in einer retrospektiven Untersuchung an 97 Patient:innen mit osteoporotischer Wirbelfraktur, dass die Beteiligung beider Endplatten und der Hinterwand auf konventionellen Röntgenaufnahmen eine höhere Tendenz zum Kollaps im weiteren Verlauf der konservativen Behandlung hat (121).

Darüber hinaus untersuchten Wakao et al. Patient:innen, bei denen die anfängliche konservative Behandlung über einen Zeitraum von drei Monaten fehlschlug (123). Risikofaktoren für ein Therapieversagen waren eine relevante Frakturinstabilität in den durchgeführten Funktionsaufnahmen.

Sagittales Profil

Verschiedene Studien zu osteoporotischen Wirbelfrakturen untersuchten die Zusammenhänge zwischen spinopelvinen Parametern und Frakturhöhe, AO-Typ bzw. Höhenverlust. Smorgick et al. beispielsweise fand bei 124 Patient:innen keine signifikante Korrelation zwischen Pelvic incidence (PI), Pelvi tilt (PT), Sacral Slope (SS), AO-Typ oder Höhenverlust der Fraktur (124).

Mit Blick auf die Konsolidierungsrate, zeigte Iwata et al. an 48 konservativ behandelten Patient:innen, dass ein PI minus LL (Lendenlordose) Mismatch von über 30° und ein Abstand der C7-Lotlinie zum Zentrum des gebrochenen Wirbelkörpers (DSVA) über 5 cm das Risiko einer ausbleibenden Konsolidierung signifikant erhöht (23). In einer Folgeuntersuchung derselben Arbeitsgruppe erwies sich die DSVA auch als signifikanter Risikofaktor für einen Wirbelkollaps (125).

In einer weiteren Arbeit zeigten Kao et al., dass ein PT über 27°, eine „sagittale vertebral axis“ (SVA) über 50 mm, ein DSVA über 60 mm und ein PI unter 40° bzw. über 60° mit vermehrt Schmerzen, höherer Instabilität und dem Versagen konservativer Maßnahmen verbunden waren (126).

Empfehlung 24:		Neu Stand 2024
<i>Die Mitbeurteilung des sagittalen Profils – klinisch und bei Verdacht auf eine Dekompensation auch radiologisch- soll im Rahmen der Therapieplanung erfolgen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Magnetresonanztomographie

Frakturmorphologie

Tsujio et al. identifizierten im MRT diagnostizierte Frakturen mit Beteiligung der mittleren Säule als Risikofaktor für das Auftreten einer Pseudoarthrose (116). Hoshiono et al. bestätigten den diagnostischen Wert der MRT und die prognostische Bedeutung von Frakturen dieser Lokalisation (102).

Ein weiterer Risikofaktor für das Scheitern einer konservativen Behandlung ist das Vorliegen mehrerer osteoporotischer Wirbelfrakturen, unabhängig davon, ob diese gleichzeitig oder in Kombination mit anderen, älteren Frakturen diagnostiziert wurden (111). Daher ist der prognostische Wert der MRT zur Unterscheidung des Frakturalters - zumindest in Bezug auf diese Fragestellung - eher von untergeordneter Bedeutung. Für weitere MRT – basierende Risikofaktoren verweisen wir auf Kapitel „Frakturspezifische Risikofaktoren“.

MRT-Sequenzen

Eine Beteiligung der Hinterkante mit konsekutivem Verlust der Wirbelkörperhöhe weist auf ein Scheitern der konservativen Therapie hin (102). Eine diffuse schwache Signaländerung in der Sagittalebene eines T1-gewichteten MRT-Scans sagt einen dorsalen Höhenverlust voraus und sollte bei der ersten Beurteilung der Bildgebung sorgfältig bewertet werden (118). Darüber hinaus wurde eine prognostische Klassifikation der Pseudoarthrose für die T1-gewichtete MRT in Kombination mit T2-gewichteten Bildern etabliert (127). Das alleinige Vorhandensein eines begrenzten Bereichs mit hoher Intensität oder eines diffusen Bereichs mit geringer Intensität innerhalb des gebrochenen Wirbels in T2-gewichteten MRT-Bildern ist ein zusätzlicher Risikofaktor für das Auftreten einer Pseudoarthrose.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Risikofaktoren zu chronischen Schmerzen und Funktionseinschränkungen bei konservativer Therapie (PI Pelvic Incidence, LL Lumbar Lordosis, PT Pelvic Tilt)

Patient:innenspezifische Risikofaktoren
Alter >73,5 LJ
Knochendichte T score < -3,45
BMI > 23,65 kg/ m ²
Modified frailty index (Score für Grunderkrankungen) 2,5
Frakturspezifische Riskofaktoren
<u>Für neurologische Komplikationen im Verlauf</u>
Ausmaß der Sinterung (>28,5%)
Thorakolumbale Beteiligung
Beteiligung Hinterkante
Intervertebrale Spalt
Midportion type fracture
Dented type fracture
Swelled front type fracture
<u>Für Wirbelkörperkollaps bzw. progrediente Kyphosierung</u>
Thorakolumbale Beteiligung
Midportion type fracture
Intervertebrale Spalt
A2- und A4-Frakturen
Hinterkantenbeteiligung
Beteiligung Grund- und Deckplatte
Anschlussfrakturen
<u>Einfluss auf das klinische Ergebnis</u>

Bow-shaped type fracture

Projecting type fracture

Swelled front type fracture

Comminuted type fracture

Hinterkantenbeteiligung

Radiologische Risikofaktoren

Konventionell-radiologische Risikofaktoren

Intervertebrale Spalt

Midportion type fracture

Beteiligung von Grund- und Deckplatte

Frakturinstabilität in Funktionsaufnahmen

Kernspintomographische Risikofaktoren

Frakturbeteiligung der mittleren Säule

Intervertebraler Spalt

Splitfrakturen

Endplattenbeteiligung

T1: diffuse hypointense Signalveränderungen

T2: diffuse niedrige Intensität, lokale hohe Intensität

Störungen der sagittalen Balance

PI-LL > 30°

DSVA > 5cm (*distance sagittal vertical axis*)

PT >27°

PI <40° bzw >60°

4.1.9.4 Andere Risikofaktoren

Zu den weiteren untersuchten potenziellen Risikofaktoren gehören der Zeitpunkt der Rückkehr zur körperlichen Aktivität und die Einnahme von Bisphosphonaten (128-130).

Kataoka et al. führten eine Beobachtungsuntersuchung durch und fanden keinen Zusammenhang zwischen früher körperlicher Aktivität und einer progredienten Sinterung des gebrochenen Wirbelkörpers (128).

In einer prospektiven Studie mit 105 eingeschlossenen Patient:innen hatte die Verwendung von Bisphosphonaten während der konservativen Behandlung osteoporotischer Wirbelfrakturen keinen Einfluss auf Schmerzen und funktionelle Ergebnisse. Allerdings war die anamnestische Einnahme von Bisphosphonaten mit dem Auftreten eines IVC verbunden (129).

Empfehlung 25:		Neu Stand 2024
<i>Bei Vorliegen von Risikofaktoren für chronische Schmerzen und funktionelle Einschränkungen im Rahmen der konservativen Therapie sollen klinische und radiologische Verlaufskontrollen frühzeitig und in kürzeren Intervallen erfolgen um einen Therapiewechsel rechtzeitig in die Wege zu leiten.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5. OPERATIVE BEHANDLUNG

Oberstes Ziel einer jeden Behandlung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen sind die Schmerzreduktion und die schnelle Mobilisation der Patient:innen.

Die Studienlage zum Nutzen der operativen Therapie osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen ist – bedingt durch die Unterschiede eingeschlossener Frakturmorphologien und Patient:innenkohorten – sehr heterogen. Große Meta-Analysen können aber bei korrekter Indikationsstellung einen Vorteil der operativen über die nicht-operative Behandlung hinsichtlich der Schmerzreduktion zeigen (131, 132).

Eine operative Therapie ist nur dann indiziert, wenn dieses Ziel durch die konservative Therapie allein nicht erreicht werden kann. Risikofaktoren für das Scheitern wurden zuvor bereits beschrieben (26).

Hinsichtlich des Zeitraums empfiehlt die Vapour Studie bei frustraner konservativer Therapie nach einem Zeitraum von drei Wochen einen Therapiewechsel in Erwägung zu ziehen (133).

Die OF-Klassifikation in Kombination mit dem OF-Score berücksichtigen die genannten radiologischen Risikofaktoren und die klinischen Patient:innen-gebundenen Begleitumstände (134). Patient:innen, die gemäß den Empfehlungen des OF-Scores behandelt wurden, zeigten günstige kurzfristige klinische Ergebnisse. Die Nichteinhaltung des Scores führte zu mehr Schmerzen und einer Beeinträchtigung der funktionellen Ergebnisse und der Lebensqualität (44).

Empfehlung 26:		Neu Stand 2024
<i>Die Indikation zur operativen Therapie osteoporotischer thorakolumbaler Wirbelkörperfrakturen sollte nach dem OF Score erfolgen. Die DVO-Empfehlung bleibt davon unberührt.</i>		
Konsensstärke	76,5 %	

Die EOFTT-Studie konnte für symptomatische OF 4-Frakturen gute klinische Ergebnisse nach Hybridstabilisierung (Zementaugmentation des frakturierten Wirbelkörpers in Kombination mit dorsaler Instrumentierung) zeigen. Für Patient:innen mit nur moderaten Symptomen waren die konservative Therapie oder die isolierte Zementaugmentation aber ebenfalls funktionierende Alternativen (48).

Für OF 5-Frakturen konnte mittels langstreckiger dorsaler Instrumentierung oder kurzstreckiger dorsaler Instrumentierung in Kombination mit einer Rekonstruktion der ventralen Säule (Wirbelkörperaugmentation oder Cage) trotz hoher Komplikationsraten eine signifikante Verbesserung von Funktion und Lebensqualität erreicht werden (47).

Empfehlung 27:		Neu Stand 2024
<i>OF4- und OF 5-Frakturen sollten je nach OF-Score operativ behandelt werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Eine frakturbedingte Ventralisierung des C7-Lots ist mit einem höheren Risiko für weitere osteoporotische Wirbelkörperfrakturen und einer geringeren Lebensqualität assoziiert (135-137). Viele Autor:innen empfehlen deshalb eine Rekonstruktion des individuellen altersspezifischen sagittalen und koronaren Wirbelsäulenprofils (21). Kyphoplastie-Verfahren erreichen im Mittel eine Kyphose-Korrektur von 5°, posteriore Schrauben-Stab-Systeme eine Korrektur von 10° (138, 139). In osteoporotischem Knochen kann eine zu aggressive Korrektur jedoch zu erhöhten Lockerungsraten der Pedikelschrauben führen. Wenn vor dem Frakturereignis eine kompensierte Dysbalance vorlag, kann die Wiederherstellung dieses Ausgangszustandes ausreichend sein (21).

Minimal-invasive Verfahren zur posterioren Instrumentierung zeigen gleiche bis geringere Komplikationsraten, einen geringeren intraoperativen Blutverlust, kürzere Operations- und Hospitalisationsdauer bei gleich guter Fraktur-Reposition, sodass diese bei den im Patient:innenkollektiv mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen zu erwartenden Komorbiditäten geeigneter scheinen (140-142).

5.1 Operationszeitpunkt bei neurologischen Defiziten

Für thorakale und lumbale Wirbelsäulenfrakturen mit neurologischen Ausfällen existiert in der Fachliteratur bisher kein Konsens über eine einheitliche Behandlungsempfehlung.

Biologisch gesehen verschlimmert eine anhaltende Rückenmarkskompression die lokale Ischämie, was zu mehr Sekundärschäden führt. Eine frühzeitige Dekompression nach Rückenmarkverletzung (Spinal Cord Injury, SCI) kann das Ausmaß der Verletzungen begrenzen und die Ergebnisse verbessern.

Zwar gibt es keine randomisierte klinische Studie der Klasse I, aber mehrere prospektive, nicht-randomisierte Studien unterstützen die Sicherheit und Wirksamkeit einer frühen chirurgischen Dekompression. So zeigte eine Dekompression innerhalb von 24 Stunden nach einer zervikalen

SCI bessere Ergebnisse, einschließlich einer geringeren Inzidenz von Komplikationen im Krankenhaus und einer besseren Erholung auf der ASIA Impairment Scale. Eine sehr frühe Dekompression (innerhalb von 8 Stunden) verbesserte signifikant die 1-Jahres-SCIM-Scores und die ASIA-Grade. Daher empfiehlt die AO Spine, dass eine frühe Operation (≤ 24 Stunden nach der Verletzung) als Behandlungsoption bei erwachsenen Patient:innen mit traumatischer Rückenmarkverletzung in Betracht gezogen werden soll (143, 144).

Bezüglich des optimalen Operationszeitpunktes bei Patient:innen ohne neurologische Defizite verweisen wir auf die nachfolgenden Kapitel.

Empfehlung 28:		Neu Stand 2024
<i>Im Falle von akuten osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen, die mit neurologischen Ausfällen einhergehen, soll eine zeitnahe operative Intervention -unter Beachtung der Kontraindikationen- innerhalb der ersten 24 Stunden durchgeführt werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.2 Zementaugmentationsstechniken ohne Instrumentierung

Isolierte Zementaugmentationsverfahren eignen sich vor allem zur Schmerzreduktion bei primär stabilen osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen mit erhaltener Rahmenstruktur und weitgehend intakter Hinterkante.

Der große Vorteil der Augmentationsverfahren ist die sehr geringe Invasivität und perioperative Morbidität. Das Risiko intra- und postoperativer Komplikationen bei Augmentationsverfahren ist relativ gering (138, 145). Grundsätzlich sind die Zementaugmentationsverfahren auch unter regionaler oder lokaler Anästhesie durchführbar, allerdings erreicht die Allgemeinanästhesie im Vergleich die beste Analgesie ohne mit mehr Komplikationen einherzugehen (146-148).

Ein erhöhtes Risiko für Anschlussfrakturen durch Wirbelkörper-Zementaugmentation im Allgemeinen konnte in mehreren Studien nicht nachgewiesen werden (149, 150). Allerdings stellt eine Zementleckage in die Bandscheibe einen Risikofaktor für Anschlussfrakturen dar (151).

Zu beachten ist bei den Verfahren der Zementaugmentation die Rate an Paravasaten. Diese konnten in routinemäßig durchgeführten postoperativen CT-Aufnahmen in 73 % der Fälle nach Kyphoplastien und in bis zu 83 % nach Vertebroplastien nachgewiesen werden (152). Im Hinblick auf die Rate an asymptomatischen Lungenembolien wurde im Rahmen der VERTOS II Studie bei 54 Patient:innen mit 80 vertebroplastierten Wirbelkörpern nach einem mittleren Nachbeobachtungszeit von 22 Monaten eine native Thorax-CT durchgeführt. Dabei konnte bei 14 Patient:innen (26%) eine asymptomatische Lungenzementembolie nachgewiesen werden (153).

Trotz dieser beachtlichen Raten muss festgehalten werden, dass die überwiegende Mehrheit klinisch asymptomatisch verläuft.

Empfehlung 29:		Neu Stand 2024
<i>Die isolierte Anwendung der Wirbelkörper-Zementaugmentation ohne Instrumentierung sollte primär stabilen osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen mit erhaltener Rahmenstruktur vorbehalten sein.</i>		
Konsensstärke	92,9 %	

Zu den Augmentationsverfahren zählen die Verfahren der Vertebroplastie, die Kyphoplastie und die Stent-Kyphoplastie.

5.2.1 Vertebroplastie

Im Verfahren der Vertebroplastie wird Knochenzement über im Pedikel gelegene Arbeitskanülen in den Wirbelkörper appliziert.

Nieuwenhuijse et al. untersuchte den Zeitpunkt der perkutanen Vertebroplastie bei der Behandlung schmerzhafter osteoporotischer Wirbelkörperkompressionsfrakturen bei 115 Patient:innen und analysiert die Rückenschmerzen und die gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQoL) nach dem Eingriff. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, dass die Vertebroplastie die Rückenschmerzen und die gesundheitsbezogene Lebensqualität

unabhängig von der seit der Fraktur verstrichenen Zeit wirksam verbessert, ohne dass sich das Risiko von Komplikationen oder einer Verschlechterung des Zustands mit der Zeit erhöht. Die Schlussfolgerung lautet, dass eine Vertebroplastie auch noch Monate nach dem Auftreten von Symptomen sicher durchgeführt werden kann (154).

In einer prospektiv randomisierten klinischen Studie wurde untersucht, ob perkutane Vertebroplastie (PVP) bei älteren Patient:innen mit akuten osteoporotischen Wirbelkörperkompressionsfrakturen im Vergleich zur konservativen Therapie (KT) zusätzliche Vorteile bietet. Die Studie umfasste 135 Patient:innen über 70 Jahre mit akuten osteoporotischen Frakturen und starken Schmerzen, die randomisiert entweder PVP oder KT zugeteilt wurden. Während des einjährigen Nachbeobachtungszeitraums zeigte die PVP-Gruppe eine wesentlich größere Schmerzlinderung und Verbesserung der Lebensqualität, gemessen durch VAS, ODI und QUALEFFO, als die KT-Gruppe. Patient:innen in der PVP-Gruppe waren mit der Behandlung signifikant zufriedener und erlebten weniger Komplikationen. Die Studie schlussfolgert, dass bei älteren Patient:innen mit akuten OWKFs und starken Schmerzen die frühzeitige Vertebroplastie schneller und besser zur Schmerzlinderung und Verbesserung der Funktionsfähigkeit führt und weniger Komplikationen aufweist als die konservative Behandlung (155).

Die VAPOUR-Studie ergab, dass Vertebroplastie bei Patient:innen mit Schmerzen und Wirbelkörperfrakturen, die weniger als 6 Wochen alt sind, wirksamer als ein Placebo ist, wobei größere Vorteile bei Frakturen ≤ 3 Wochen festgestellt wurden. Diese Studie zielte darauf ab, die Sicherheit und Wirksamkeit der frühen Vertebroplastie bei akuten schmerzhaften osteoporotischen Wirbelbrüchen innerhalb von 3 Wochen nach dem Bruch zu bewerten. Bei Patient:innen mit Frakturen ≤ 3 Wochen zeigten 51 % in der Vertebroplastie-Gruppe eine signifikante Schmerzreduktion im Vergleich zu 20 % in der Placebogruppe. Die Analyse legt nahe, dass eine frühe Vertebroplastie innerhalb von 3 Wochen nach der Fraktur klinisch signifikante Vorteile bietet und mit den Ergebnissen anderer randomisierter Studien übereinstimmt (133).

Auch die Ergebnisse einer weiteren Arbeit legen nahe, dass sofern die Fraktur innerhalb von 12 Wochen behandelt wird, sich eine signifikante Verbesserung der Schmerzen (VAS), der Wirbelsäulenfunktion und der Lebensqualität einstellt (156).

Die allgemeinen Unterschiede zu den Ergebnissen der VERTOS IV-Studie sowie zur Arbeit von Buchbinder et al. lassen sich sicherlich durch den verzögerten Therapiebeginn dieser Arbeiten erklären (157, 158).

Abschliessend muss festgehalten werden, dass die Datenlage bezüglich der klinischen Vorteile einer Vertebroplastie nicht gänzlich geklärt ist, besonders im Hinblick auf den Einsatz jenseits von drei Wochen nach Erstmanifestation der Wirbelkörperfraktur.

5.2.2 Kyphoplastie

Zwei randomisiert-kontrollierte Studien ließen Zweifel an der Wirkung der klassischen Vertebroplastie aufkommen, zumindest bei älteren Frakturen, da das Einschlusskriterium dieser Studien "Schmerzen weniger als 12 Monate" war (158, 159).

Daher wurde die Vertebroplastie durch den Einsatz von aufblasbaren Ballons weiterentwickelt (160, 161). Gerade bei einem Frakturalter von 2-4 Wochen zeigt sich ein guter analgetischer und mobilisierender Effekt der Ballonkyphoplastie (145). Die Zementierung des Wirbelkörpers erfolgt erst nach Aufrichtung des Wirbelkörpers durch einen Ballon. Die Verwendung eines Ballons führte zu einer größeren Höhenwiederherstellung und – durch Schaffung eines geschützten Hohlraums für den Knochenzement – zu weniger Zementaustritt als bei der Vertebroplastie (162, 163).

In einer prospektiven Studie wurden die klinischen Ergebnisse von Behandlungen osteoporotischer Wirbelkörperkompressionsfrakturen miteinander verglichen. An der Studie nahmen 259 Patient:innen teil, die zunächst konservativ behandelt wurden, und 91, die sich aufgrund anhaltender Symptome einer Kyphoplastie unterzogen hatten. Die Ergebnisse zeigten, dass beide Behandlungen wirksam waren, wobei die Kyphoplastie nur im ersten Monat bessere Ergebnisse lieferte; bei den Langzeitergebnissen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsmodalitäten (110).

In einer weiteren systematischen Übersichtsarbeit wurde untersucht, wie sich die Dauer der präoperativen Schmerzen auf die Ergebnisse von Wirbelkörperaugmentationen auswirkt. Die Ergebnisse aus 17 Artikeln zeigten eine, wenngleich auch geringe positive Korrelation, in Abhängigkeit mit der präoperativen Beschwerdedauer (164).

In einer retrospektiven Studie wurden die Auswirkungen des Zeitpunkts der perkutanen Ballon-Kyphoplastie (BKP) auf die klinischen und radiologischen Ergebnisse bei 51 Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen untersucht. Patient:innen, die sich einer frühen BKP innerhalb von 4 Wochen unterzogen hatten, zeigten signifikant bessere Ergebnisse in Bezug auf die lokale Kyphose, geringere Rückenschmerzwerte und geringere Raten nachfolgender Wirbelfrakturen im Vergleich zu den später (>4 Wochen) behandelten Patient:innen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass eine frühzeitige Intervention (BKP) eine weitere Sinterung verhindern und die funktionellen Ergebnisse verbessern kann (165).

In einer weiteren Metaanalyse wurden ebenfalls die Auswirkungen des Operationszeitpunkts auf die Ergebnisse der perkutanen Ballonkyphoplastie (BKP) analysiert. Die Ergebnisse aus dreizehn klinischen Studien zeigten, dass ein früher BKP-Eingriff im Vergleich zu einem späteren Eingriff zu einer ähnlichen oder besseren Schmerzlinderung, funktionellen Verbesserung, Wiederherstellung der Wirbelhöhe und Korrektur der Kyphose führte. Auch diese Autor:innen schlussfolgerten, dass eine frühzeitige BKP für Patient:innen mit symptomatischen osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen von größerem Nutzen sein könnte, obwohl die Evidenzbasis begrenzt und von geringer Qualität ist (166).

In einer retrospektiven Kohortenstudie wurden die Auswirkungen des Zeitpunkts des chirurgischen Eingriffs auf die Wirbelkörperfrakturrate und die Sterblichkeit nach perkutaner Kyphoplastie (BKP) oder perkutaner Vertebroplastie (PVP) bei Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperkompressionsfrakturen untersucht. Es zeigte sich, dass ein frühzeitiger chirurgischer Eingriff die Rate der Wirbelkörperbrüche deutlich senkte. Der Zeitpunkt der Operation hatte jedoch keinen signifikanten Einfluss auf die Sterblichkeitsrate,

obwohl das Geschlecht und das Vorliegen eines Hirninfarkts als potenzielle Risikofaktoren für die Sterblichkeit ermittelt wurden (167).

Auch in einer weiteren Metaanalyse wurde der Einfluss des Zeitpunkts auf die klinischen Ergebnisse bei Zementaugmentationen untersucht. Hierfür wurden frühe und späte Eingriffe miteinander verglichen, wobei "früh" und "spät" durch unterschiedliche Zeitintervalle definiert wurden. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass sowohl die frühe als auch die späte Zementaugmentation zu einer deutlichen Schmerzlinderung führt, ohne dass es größere Unterschiede bei den Komplikationen gibt. Dies unterstreicht, dass ein frühes Eingreifen (innerhalb von 2 bis 4 Wochen) bei symptomatischen Patient:innen eine erhebliche Schmerzlinderung bewirken kann (145).

Bezogen auf die Vertebroplastie zeigte sich biomechanisch, dass mindestens 16% des Wirbelkörpervolumens als Knochenzement eingebracht werden sollten, um einen Effekt zu erzielen; bei der Kyphoplastie erwies sich ein maximales Zementvolumen von nicht mehr als 25-30% als nützlich (168). Die Applikation größerer Volumina führt zu einer übermäßigen Zunahme der Steifigkeit des betroffenen Wirbelkörpers, was die Gefahr von sekundären Frakturen erhöht.

Zusammenfassend erwies sich die frühzeitige Kyphoplastie innerhalb des ersten Monats nach Erstmanifestation der Fraktur bei Patient:innen, bei denen eine konservative Behandlung keine ausreichende Besserung erbrachte, als effektiv. Diese frühzeitige Intervention zeigt in der Regel bessere Ergebnisse in Bezug auf Schmerzlinderung und Verbesserung der Wirbelsäulenfunktion im Vergleich zu einem verzögerten Eingreifen.

Empfehlung 30:		Neu Stand 2024
<i>Wird die Indikation zur Wirbelkörper-Zementaugmentation ohne Instrumentierung gestellt, sollte bei Frakturen mit kyphotischer Deformität oder relevanter Höhenminderung eine Kyphoplastie und keine Vertebroplastie durchgeführt werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Empfehlung 31:		Neu Stand 2024
<i>Bei der Applikation des Zementes soll auf eine ausreichend hohe Viskosität geachtet werden, um das Risiko für Zementextravasate zu reduzieren.</i> <i>Bei der Kyphoplastie sollte ein maximales Zementvolumen von nicht mehr als 30% des Wirbelkörpervolumens appliziert werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.2.3 Stent-Vertebroplastie

Nach der Deflation des Ballons im Rahmen der Ballonkyphoplastie kann es zu einem sekundären Verlust der ursprünglichen Reposition mit einer Abnahme der Wirbelhöhe kommen (169). Dies führte zur Entwicklung von im Wirbelkörper expandierbaren Implantaten oder Stents, die vor dem Zement eingebracht werden (Stent-Kyphoplastie), um den sekundären Verlust der Wirbelhöhe zu verhindern (170). Randomisierte kontrollierte Studien konnten bisher jedoch bei Patient:innen mit schmerzhaften osteoporotischen Wirbelfrakturen keinen Vorteil der Stent-Kyphoplastie gegenüber der Ballon-Kyphoplastie in Bezug auf die kyphotische Korrektur, den Zementaustritt oder das Auftreten von neurologischen Folgeerscheinungen zeigen (138).

Empfehlung 32:		Neu Stand 2024
<i>Die Stent-Kyphoplastie sollte aufgrund der fehlenden Evidenz nicht routinemäßig angewendet werden.</i>		
Konsensstärke	92,3 %	

5.3 Dorsale instrumentierende Verfahren

Die Evidenz für dorsal instrumentierende Verfahren ist schwach, da mehrheitlich lediglich Fallserien vorliegen. Eine dorsale zementaugmentierte Stabilisierung mit Zementierung des frakturierten Wirbelkörpers führte bei instabilen Frakturen Typ OF 3 und 4 zu guten

Ergebnissen (171). Darüber hinaus konnten ähnliche Ergebnisse wie eine dorsoventrale Stabilisierung bei Patient:innen zwischen dem 60 und 70. Lebensjahr nachgewiesen werden (172). Am thorakolumbalen Übergang ist eine kurzstreckige Versorgung mehrheitlich ausreichend, während an der mittleren und oberen BWS eher längerstreckig Konstrukte sich bewährt haben (173). Dabei konnten jedoch keine klinischen Vorteile im kurzfristigen Verlauf gegenüber der konservativen Therapie als auch der Zementaugmentation nachgewiesen werden (44, 48). Somit besteht hier lediglich eine expertenbasierte Therapieempfehlung zur dorsalen Stabilisierung mit Zementaugmentation des frakturierten Wirbelkörpers in Patient:innen mit OF 3 und 4 Fraktur mit relevanter kyphotische Fehlstellung und Repositionspotential (134). Darüber hinaus wird die dorsale Stabilisierung entweder kurz oder langstreckig mehrheitlich im deutschsprachigen Raum bei OF 5 Frakturen durchgeführt (47).

Empfehlung 33:		Neu Stand 2024
<i>Dorsale Instrumentierungen sollten lumbal und thorakolumbal kurzstreckig (mono-/bisegmental) erfolgen. Bei begleitender Spondylitis ankylosans oder einer diffusen idiopathischen Skeletthyperostose (DISH) benötigt es längerstreckiger Konstrukte. Auch im Bereich der BWS ist ein längerstreckiges Vorgehen zu empfehlen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.4 Ventrale instrumentierende Verfahren

Die Evidenzlage zu ventralen instrumentierenden Verfahren bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen ist ebenfalls schwach. Alleinige ventrale instrumentierende Verfahren bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen thorakolumbal sind aufgrund der schlechten Knochenqualität mit verminderter Konstruktstabilität und erhöhtem Risiko für eine Materiallockerung-/dislokation nicht empfehlenswert. Vielmehr dienen sie der zusätzlichen ventralen Abstützung bzw. Rekonstruktion der Wirbelsäule nach posteriorer Zementaugmentationierten Stabilisierung.

Die ventrale Rekonstruktion erfolgt meist mittels eines expandierbaren Titancages. Es kommen aber auch andere Implantate wie PEEK oder Karbonfaser-PEEK-verstärkte expandierbare oder

modulare Cages mit oder ohne zusätzliche Plattenosteosynthese, Tantalum, Knochenzement oder autologe und allogene Knochentransplantate zum Einsatz.

Wie bereits in Kapitel 6.4 erwähnt, kann die transpedikuläre anteriore Abstützung mittels Kyphoplastie des frakturierten Wirbelkörpers in Kombination mit einer überbrückenden posterioren zementaugmentierten Stabilisierung, einer sog. Hybrid-Stabilisierung, bei OF3- und OF4-Frakturen mittelfristig gute klinische Ergebnisse erzielen (171). Vorteil dieser Technik ist die Einzeitigkeit der OP und die Möglichkeit diese minimal-invasiv durchzuführen. Mögliche Vorteile sind u.a. die Reduktion von Zugangstrauma, OP-Dauer, Blutverlust und stationärer Liegedauer.

In einer retrospektiven Studie, die die Hybrid-Stabilisierung gegen eine kombinierte dorsoventrale Spondylodese mit Cage verglich, konnten mittelfristig (mittleres Follow-up 27 Monate) gleich gute Ergebnisse in Bezug auf mittleren ODI (Hybrid: 10,8 vs. Dorsoventral: 13,6; $p=0,71$), Schmerz (Hybrid 2,9 vs. Dorsoventral 2,8; $p=1$) und Korrekturverlust (Hybrid: 4,2° vs. Dorsoventral: 7,1°; $p=0,11$) erreicht werden, während OP-Dauer (Hybrid: 95 min. vs. Dorsoventral: 254 min.; $p<0,01$) und stationäre Liegezeiten (Hybrid: 12 Tage vs. Dorsoventral 24 Tage; $p<0,01$) nach Hybrid-Stabilisierung signifikant kürzer waren (172).

Empfehlung 34:		Neu Stand 2024
<i>Rein ventrale Operationsverfahren ohne dorsale Instrumentierung sollen nicht durchgeführt werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Die ventrale Rekonstruktion kann entweder einzeitig in Bauchlage von dorsal im Rahmen der dorsalen Stabilisierung oder in einem zweiten Schritt von dorsal oder ventral (je nach Lokalisation transthorakal oder retroperitoneal) durchgeführt werden. Vorteil des einzeitigen Verfahrens ist, dass der Patient:innen nur eine OP, nur einen Hautschnitt, und nur eine Vollnarkose benötigt. Nachteile gegenüber einem zweizeitigen Vorgehen sind aber die lange OP-Dauer, der hohe Blutverlust und das insgesamt gesteigerte Risiko für perioperative Komplikationen (174).

Eine retrospektive Studie konnte vergleichbare Ergebnisse im Hinblick auf Lebensqualität nach durchschnittlich 4 Jahren Follow-up bei Patient:innen mit rein dorsaler Instrumentierung im Vergleich zu dorsoventraler Stabilisierung mit ventraler Cage-Rekonstruktion bei thorakolumbalen OF-Frakturen nachweisen. Nach dorsoventraler OP konnte aber eine signifikant bessere sagittale Korrektur ($9,3^\circ \pm 7,4^\circ$) erzielt werden im Vergleich zu rein dorsal instrumentierten Patient:innen ($6,0^\circ \pm 5,6^\circ$; $p=0,0065$). Die Komplikationsraten waren vergleichbar hoch in beiden Gruppen und lagen bei ca. 60%, mit überwiegend systemischen oder Wundinfektionen/-heilungsstörungen. Revisions-Operationsraten aufgrund von Konstruktversagen oder Anschlussdegenerationen unterschieden sich ebenfalls nicht signifikant (dorsoventral: 13,5% vs. Rein dorsal: 11,1%; $p>0,999$) (175).

Empfehlung 35:		Neu Stand 2024
<i>Die Indikation zu längerstreckigen dorsalen oder dorsoventralen Rekonstruktion sollte aufgrund der hohen perioperativen Komplikationsraten sorgfältig überprüft werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.5 Kombinierte dorsoventrale Verfahren

5.5.1 Wirbelkörperersatz und dorsale Fixation

Im Gegensatz zur Versorgung instabiler Berstungsfrakturen bei knochengesunden Patient:innen spielen dorsoventrale Verfahren mit zementaugmentiertem Fixateur interne von dorsal und Wirbelkörperersatz von ventral bei den überwiegend älteren und alten Patient:innen mit instabilen thorakolumbalen Wirbelfrakturen und Osteoporose eine untergeordnete Rolle (134, 176).

Ursächlich hierfür ist einerseits eine durch Dehydration und Degeneration bedingte Abnahme der Elastizität der Bandscheiben im Alter und damit einhergehend sowohl eine geringere Verletzungsanfälligkeit der Bandscheiben bei Frakturen als auch geringere Bedeutung für posttraumatische Veränderungen im Sinne von Höhenminderung und Kyphosierung, welche weit überwiegend im frakturierten osteoporotischen Wirbel selbst und nicht im Bandscheibenfach stattfinden. Allerdings können im Verlauf erhebliche

Wirbelkörperdeformationen und Instabilitäten auftreten. Ein additiver ventraler, meist transthorakaler Zugang bedeutet auch bei minimalinvasiver Technik eine höhere operative Belastung und zudem häufig eine zweite Allgemeinnarkose für die Patient:innen, was nicht nur bei kardiopulmonalen Vorerkrankungen das Risikopotential erhöht.

Allerdings steigt der prozentuale Anteil dorsoventraler Versorgungen mit zunehmender Verletzungsschwere an. Während kein Patient:innen mit OF1- oder OF2- Fraktur eine solche Behandlung erfuhr, wurden nur 3% (5/145) der Patient:innen mit OF3- Frakturen kombiniert versorgt, bei OF4- Frakturen waren es 7% (8/116) und bei OF5- Verletzungen 21% (4/19). Gleichzeitig war keiner dieser Patient:innen älter als 70Jahre (47, 48).

Zusammenfassend gehören Frakturen bei Patient:innen mit hohem Aktivitätsniveau, einem ausgeprägten Wirbelkörperdefekt oder einer ausgeprägten Kyphose von $> 20^\circ$ mit Instabilitätszeichen zu den möglichen Indikationen einer dorsoventralen Operation (47, 48, 134, 176).

Empfehlung 36:		Neu Stand 2024
<i>Dorsoventrale Operationen können bei bestimmten Indikationen erwogen werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.5.2 Hybridfixation

Als Alternative zur zweiseitigen dorsoventralen Fusion besteht bei den genannten morphologischen Kriterien die Möglichkeit einer Hybridversorgung. Diese beinhaltet eine dorsale zementaugmentierte Instrumentierung mit zusätzlicher Kypho-/ Vertebroplastie des frakturierten Wirbelkörpers, sofern der kortikale Rahmen weitestgehend erhalten ist.

Spiegel et al. bewerteten den Nutzen und Erfolg einer entsprechenden Versorgung, gemessen am ODI-Score und des Repositionsverlustes, im Rahmen einer retrospektiven Studie an insgesamt 113 Patient:innen mit einer instabile osteoporotischen Wirbelkörperfraktur der Brust- und Lendenwirbelsäule (171). Alle Patient:innen wurden mittels Hybridstabilisierung versorgt. Der durchschnittliche ODI-Score bei der letzten Nachuntersuchung nach vier Jahren

betrug 29,9 ($\pm$ 22,0). 66,6 % der Patient:innen beichteten nur noch über leichte bis mittelgradige Einschränkungen. Der durchschnittliche Repositionsverlust betrug 7,4 % ($\pm$ 5,6 %), wobei bei 78% der Patient:innen dieser unter 10° gemessen wurde. Insgesamt zeigte sich eine direkte Korrelation zwischen dem Ausmaß des Repositionsverlustes und einem schlechten klinischen Ergebnis (171). In einer Folgestudie identifizierten die Autor:innen das Ausmaß des Höhenverlustes der sich kranial an den frakturierten Wirbelkörper anschließenden Bandscheiben, sowie das Frakturausmaß im zentralen Anteil des Wirbelkörpers als hauptverantwortlich für den Verlust der Reposition (177).

Im Vergleich zur alleinigen Kyphoplastie zeigten die Arbeiten von Gu et al. eine klare Überlegenheit der Hybridfixation (178). War die Reduktion des Schmerzlevels direkt postoperativ in beiden Kollektiven vergleichbar – und signifikant besser als präoperativ – so zeigte sich bereits nach einem Monat ein signifikanter Vorteil im Kollektiv der hybridversorgten Patient:innen. Nach sechs Monaten verlor dieser Unterschied dann aber an Signifikanz (178). Auch mit Blick auf die Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe zeigte sich ein signifikanter Vorteil der Hybridversorgung im Vergleich zur Kyphoplastie, welcher auch über den gesamten Beobachtungszeitraum von zwei Jahren fortbestand. Vielmehr nahm das Repositionsergebnis nach Kyphoplastie über den Verlauf deutlich ab. Analog verhielt es sich auch bei der Wiederherstellung des sagittalen Profils. So zeigte sich direkt postoperativ eine signifikante Verbesserung der lokalen Kyphose in beiden Kollektiven, mit Vorteilen bei der Hybridversorgung. Über den Beobachtungszeitraum kam es nach Kyphoplastie zu einer stetigen Verschlechterung, wohingegen im Kollektiv der Hybridfixation die Werte konstant blieben (178).

Prinzipiell besteht auch die alternative Möglichkeit einer Pedikelschraubenfixierung des betroffenen Wirbels mit kurzen Schrauben, sofern eine Kyphoplastie nicht möglich ist (Plattwirbel, erhebliche Hinterkantenbeteiligung etc.). Jedoch liegen hier bisher keine publizierten Ergebnisse vor.

Empfehlung 37:		Neu Stand 2024
<i>Die Hybridstabilisierung (zementaugmentierte Instrumentierung mit Augmentation des Frakturwirbels) sollte bei OF 3-4 Frakturen bevorzugt werden, wenn eine alleinige Augmentation des Frakturwirbels für nicht ausreichend erachtet wird.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.6 Implantate

Generell werden die speziell für die Versorgung osteoporotischer Frakturen entwickelten Implantate in zwei Kategorien unterschieden:

1. Intravertebrale Implantate, die zu einer ggf. zusätzlichen Zementaugmentation einen weiteren Wirbelkollaps mit ggf. sekundärer Kyphosierung verhindern sollen. Positive Aspekte versprechen die Implantathersteller hinsichtlich Anschluss- und Folgefrakturen oder einer geringeren Zementextravasationsrate.
2. Implantate zur verbesserten Fixation der Fraktur/Verankerung des Fixateurs im osteoporotischen Knochen

Beide Systeme haben das Ziel der verbesserten Stabilisierung der Fraktur zur optimierten Schmerzreduktion und zur Wiederherstellung und Sicherung des lokalen sagittalen Profils. Erstere stabilisieren hierbei die vordere, letztere die hintere(n) Säule(n).

5.6.1 Intravertebrale Implantate

Es existieren verschiedene Implantate, die in der Regel transpedikulär in den Wirbelkörper eingesetzt werden. Verschiedene Mechanismen kommen hierbei zur Anwendung, um die Implantate zu expandieren und so die entkyphosierende Korrekturwirkung im Vergleich zu den Verfahren der Vertebroplastie und Ballonkyphoplastie zu verbessern und speziell den intraoperativen Korrekturverlust nach dem Entleeren der Kyphoplastieballone zu verhindern (179).

Die meisten Studien liegen für Spine Jack® (SJ, Stryker, Kalamazoo, MI, USA), Kiva® (IZI-Medical Ownings Mills, MD, USA) und den Vertebral Body Stent vor und zeigen im Wesentlichen eine Non-Inferiority der Verfahren gegenüber der Ballonkyphoplastie (BKP) oder der Vertebroplastie (Evidenzgrad A). Vergleiche zur konservativen Therapie existieren in der Regel nicht. Hinsichtlich *Patient Reported Outcome Measures* (PROMs) konnte somit bisher keine signifikante Überlegenheit der Implantate belegt werden. Die Ergebnisse im postoperativen bis zum 1-Jahresverlauf decken sich im Wesentlichen mit denen einer alleinigen BKP und VP (180-185).

Gegenüber den reinen zementbasierten Verfahren zeigt sich ein geringer positiver Aspekt hinsichtlich des Erhalts der Kyphosekorrektur über die Zeit.

Beispielsweise konnten mehrere Kadaver- und in-vivo Studien zeigen, dass bei der Anwendung des Spine Jack® Systems, welches transpedikulär in den Wirbel eingebracht und hier kranio-kaudal expandiert wird, das zusätzlich applizierte Zementvolumen im Vergleich zur Kyphoplastie steigt und die Kyphosekorrektur und der Erhalt der Reposition verbessert sind (181, 186, 187). Der Korrekturgrad selbst ist jedoch im Verlauf von 12 Monaten relativ gering (etwa 4-5°, 10% der Wirbelhöhe) und hatte klinisch keinen signifikant höheren Effekt als die alleinige Zementapplikation. Eine große, randomisierte Analyse konnte den zuvor beschrieben positiven Effekt der Stentvertebroplastie hingegen nicht bestätigen (138)

Analog auch die Ergebnisse unter der Anwendung des Kiva® Systems (KV). So zeigte sich in einer prospektiven randomisierten Studie zum Vergleich von Kiva® mit BKP an 168 Patient:innen mit 255 osteoporotischen Frakturen vergleichbare Ergebnisse beider Prozeduren hinsichtlich Höhenrekonstruktion des Wirbelkörpers, der Rate an Anschluss- und Folgefrakturen sowie Schmerz-, Lebensqualitäts- und Funktionsverbesserung nach 12 Monaten. Lediglich die Zahl der Patient:innen mit verbleibendem monosegmentalem Kyphosewinkel >5° war nach Kiva reduziert (KV 84 % vs. BKP 100%, $p < 0,001$) und die Rate der Zementextravasate war geringer (KV 0,03 vs. BKP 0,098, $p < 0,05$) (188). Die Ergebnisse konnten in einer weiteren prospektiv-multizentrischen randomisierten non-inferiority Studie (KAST-Studie) von 253 Patient:innen mit 355 Frakturen bestätigt werden (189). Die Studie zeigt Non-Inferiority hinsichtlich Schmerz-, Funktionsverbesserung, Adverse Events und Anschluss-/Folgefrakturen. Allein die Rate der Zementextravasate war unter Kiva® vermindert (KV 16,9% vs. BKP 25,8%).

Vergleichbar auch die Studienergebnisse unter Verwendung anderer Verfahren, namentlich Vertebral Body Stent (VBS, Depuy-Synthes, West Chester, PA, USA), Supportcage OsseoFix® (Alphatec Spine, Carlsbad, CA, USA), Vesselplasty (VY) (Vessel-X, A-Spine Holding Group Corporation, New Taipei City, Taiwan)(170, 179, 190-205).

Darüber hinaus existiert eine Reihe weiterer Implantate, für die allenfalls klinische Pilotstudien oder Fallserien publiziert wurden und weitere, die allein biomechanisch evaluiert wurden. Zu ersteren zählen VerteLift™, NICE, Shield™ VCF, TpBA, zu letzteren BeadX und V-Strut® (206-212). Der Vollständigkeit halber sei hier noch das Optimesh System erwähnt, welches eine Mesh-Kapsel darstellt, die mit allogenen oder autogenem Knochen gefüllt wird. Klinische Daten liegen hier nicht vor.

Problematisch ist bei allen Studien, dass auf die medikamentöse postoperative Behandlung nicht eingegangen wird, sodass der Vergleich der Folge- und Anschlussfrakturen generell in Frage zu stellen ist, zumal die Vorteile für die einzelnen Implantate uneinheitlich in den Studien und Fallserien belegt sind. Ob eine geringere Kyphose von 4-6° eine geringere Frakturnrate zur Folge hat, ist aufgrund fehlender Datenlage über die begleitende Medikation fraglich. Kritisch muss auch angemerkt werden, dass viele der aufgeführten Studien industriegesponserte Arbeiten sind. Somit ist der Bedarf nach größeren, unabhängigen Fallserien mit hohem Evidenzgrad essentiell.

Statement 38:		Neu Stand 2024
<i>Das Einbringen intravertebraler Implantate hat bisher keine Vorteile gegenüber der Ballonkyphoplastie zeigen können.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.6.2 Implantate zur verbesserten Fixation im osteoporotischen Knochen

Im Wesentlichen handelt es sich um Modifikationen von Pedikelschrauben, um diese entweder besser (einfacher und ggf. mit reduzierter Rate von Knochenzementextravasaten) mit Zement im Wirbel zu verankern oder um durch Designmodifikationen oder Beschichtungen die Ausreißkraft ohne Zementierung zu erhöhen. Biomechanische Studien belegen in der Regel

die gesteigerte Pull-Out-Force der Schrauben (bei Hydroxylapatit-beschichteten Schrauben erst nach Einwachsen).

5.6.2.1 Kanüliert-fenestrierte Pedikelschrauben (FNS)

Kanüliert-fenestrierte Pedikelschrauben (FNS) werden zur PMMA-Augmentation der Schrauben mittlerweile von verschiedenen Firmen angeboten und können sowohl bei offener als auch bei perkutaner Implantationstechnik verwendet werden. Die Schrauben dienen der Applikation von zähflüssigem PMMA-Knochenzement durch die Schraube in den Wirbelkörper, wobei die Fenestrierung in der Regel lateral an der Spitze der Schraube liegt, um Zementextravasate in Richtung Spinalkanal zu reduzieren. Biomechanische Untersuchungen belegen die Erhöhung der Ausreißkraft und die verbesserte Stabilität der Verankerung der zementaugmentierten FNS-Schrauben im osteoporotischen Knochen [48], welche vergleichbar derjenigen mit PMMA-Augmentation ohne Anwendung der fenestrierten Schrauben ist (213, 214). Die Zunahme der Pull-Out-Force, welche allerdings aufgrund der unphysiologischen Belastung kritisch hinterfragt werden muss, hängt von der Zementmenge und der Knochenqualität ab und steigt auf 147-300% normaler Schrauben (215). In der klinischen Beurteilung existieren mehrere retrospektive Fallserien, die in einem strukturierten Review zusammenfassend analysiert wurden (216). Diese zeigen eine hohe Konstruktstabilität über ein bis zwei Jahre bei einer häufig asymptomatischen (0,9 % neue neurologische Defizite) Zementextravasatrate von 11,5-21%/Patient:in im Röntgen und bis zu 59,3 %/Patient:in im CT sowie bis zu 5% pro Schraube (216-220). Denkbar sind dennoch alle möglichen mit Zementextravasaten assoziierten Komplikationen wie z.B. Lungenembolien (221). Die radiologische Rate von Lungenembolien beläuft sich in der Literatur auf 7,3% der Patient:innen, wobei etwa 1% symptomatische Lungenembolien aufwiesen (216). Reduzieren lässt sich das Risiko von Extravasaten bei langstreckigen Versorgungen durch die limitierte Augmentation der Endwirbelkörper. Spiegel et al konnten in diesem Zusammenhang biomechanisch zeigen, dass es keinen Nachteil zur Vollzementierung gibt (222).

Die Rate von Patient:innen mit aseptischen Lockerungen von FNS liegt etwa bei 0,2% (216).

Noch nicht abschließend definiert und biomechanisch verifiziert ist ein Grenzwert, ab dem eine Schraubenaugmentation zu empfehlen ist.

Empfehlung 39:		Neu Stand 2024
<i>Eine Zementaugmentationen der Pedikelschrauben sollte bei einer reduzierten Knochenqualität von < 120 HU erfolgen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.6.2.2 Expandierbare Pedikelschrauben (EPS)

Expandierbare Pedikelschrauben (EPS) können im distalen Schraubendrittel aufgespreizt werden und sollen somit die Implantatlockerungs-/migrationsrate vermindern (212, 223, 224). Biomechanische Studien belegen diese Wirksamkeit mit einer vergrößerten Pull-Out-Force von 7,3-51,5% (224-233). Die Steigerung der Pull-out-Force erreicht jedoch nicht die von zementaugmentierten Standardschrauben (233). Die klinischen Ergebnisse erscheinen vergleichbar denen normaler Pedikelschrauben (224). Eine kleine prospektiv randomisierte Studie verglich klinisch und radiologisch fenestrierte zementaugmentierte Schrauben mit expandierbaren Schrauben (20 vs. 20 Patient:innen, 2 Jahre Follow-Up) (219). Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede in den klinischen Ergebnissen, in beiden Gruppen jeweils eine Implantatlockerung und in der Gruppe mit den fenestrierten Schrauben in 20% asymptomatische Zementextravasate sowie eine im Mittel längere OP-Zeit (EPS 152 vs. FNS 188 min, $p < 0,001$). In einer weiteren prospektiven randomisierten Studie verglichen Wu et al. bei 157 (EPS 80 vs. 77 mit klassischen Pedikelschrauben) Patient:innen mit Osteoporose die Komplikationsraten nach 2 Jahren (234). Im Ergebnis war die Lockerungsrate bei EPS-Schrauben signifikant geringer: 4,1% der Schrauben in 7,5% der Patient:innen vs. 12,9% der Schrauben in 19,5% der Patient:innen mit Standardschrauben ($p < 0,001$). Zudem wurde von einer höheren Fusionsrate mit EPS-Schrauben (92,5 vs. 80,5%, $p = 0,048$) berichtet. Zu verweisen sei hier auf die Möglichkeit der erschwerten Revision, da eingewachsener Knochen nach einiger Zeit die Umkehr des Expansionsmechanismus verhindern kann (219).

5.6.2.3 Pedikelschrauben mit Doppelgewinde

Pedikelschrauben mit Doppelgewinde haben im schraubenkopfnahen Teil des Schaftes ein zweites Gewinde, welches eine bessere Verankerung im kortikalen Knochen des Pedikels ermöglichen soll (235). In biomechanischen Untersuchungen zeigen die Schrauben vor allem

bei schlechter Knochenqualität eine verbesserte Fixation (122,6 % Fatigue Load bei Verwendung der Doppelgewindeschrauben bei zyklischer Belastung) (236). Die Verankerung kann zusätzlich weiter verbessert werden bei Kombination eines konischen Schraubenkerndesigns mit einem Doppelgewinde (237). Das Schraubendesign spielt jedoch hinsichtlich der Pull-Out-Force bei zusätzlicher Zementierung derselben eine eher untergeordnete Rolle, da diese die Verankerung nochmals deutlich verbessert (237). Klinische Vergleichsstudien existieren hier nicht.

5.6.2.4 Hydroxylapatit (HA)-beschichtete Pedikelschrauben

Hydroxylapatit (HA)-beschichtete Pedikelschrauben zeigen durch das bei Osteoporose zwar reduzierte, aber vorhandene verbesserte Einwachsen von Knochen an die Metalloberfläche ebenfalls eine gesteigerte Pull-Out-Force (238-244). Tierversuche belegen, dass diese etwa um den Faktor 1-6 höher liegt als bei klassischen Pedikelschrauben. Das verbesserte Knochen-Metall-Interface wird jedoch nicht unmittelbar nach Applikation erreicht. Im direkt postoperativen Zustand ist die Stabilität der normalen Pedikelschrauben vergleichbar. Im Tierversuch zeigte sich allerdings schon nach 10 Tagen ein 1,6fach gesteigerter Widerstand gegen Pull-Out (88). In einer prospektiv randomisierten Studie konnte nach im Mittel 12,4 Monaten bei 19 (3 Gruppen: nicht-beschichtet, partiell HA-beschichtet, voll HA-beschichtet) nicht-osteoporotischen Patient:innen der Extraktionsdrehwiderstand während der Implantatentfernung gemessen werden (242). Es zeigte sich eine signifikante Steigerung desselben bei beschichteten HA-Schrauben (unbeschichtet 29 ± 36 Ncm vs. partiell HA 447 ± 114 Ncm vs. voll HA 574 ± 57 Ncm, $p < 0,001$). Kritisch angemerkt werden muss bei dieser Arbeit allerdings das kleine Kollektiv von nur 19 Patient:innen. Zu bedenken ist, dass im Falle der Notwendigkeit einer Implantatentfernung das Coating und das verbesserte Einwachsen in Einzelfällen diese jedoch auch deutlich erschweren kann (239).

5.7. Prophylaktische Zementaugmentation zur Vermeidung von Anschlussfrakturen

Unabhängig von der Modalität der Therapie ergibt sich bei diesem Patient:innenkollektiv ein etwa drei- bis fünffach erhöhtes intrinsisches Risiko eine erneute Fraktur an anderer Stelle. In der Regel ist hiervon der direkt angrenzende kraniale Wirbelkörper betroffen (7).

Die Ursachen hierfür sind mannigfaltig, wobei unklar ist, ob die chirurgische Intervention tatsächlich einen Einfluss darauf hat. Auch im Rahmen der konservativen Therapie lassen sich Anschlussfrakturen häufig beobachten, gleichwohl eine insuffiziente Knochenqualität darauf sicher den größten Einfluss hat. Aber auch biomechanische Veränderungen der Wirbelsäulenstatik sind zu berücksichtigen. So stellt sich bedingt durch die mit der Fraktur assoziierten progredienten Kyphosierung eine Ventralisierung des Körperschwerpunktes ein, womit additiv zur physiologischen axialen Belastung noch mehr Druck auf die Endplatten wirkt. In deren Folge nimmt das Risiko für Anschlussfrakturen signifikant zu.

Durch die Möglichkeit einer partiellen Wiederherstellung der Wirbelkörperhöhe versucht die Technik der Kyphoplastie dem entgegenzuwirken. Allerdings liegt auch nach Augmentation im vergleichbaren Zeitraum die Inzidenz von Anschlussfrakturen bei 12-24%, wobei in 41-67% der direkt benachbarte kraniale Wirbel betroffen ist (245).

Hauptursache hierfür ist sicherlich die schlechte Knochenqualität. Aber auch andere Faktoren wie das Zementmaterial, die Zementverteilung, das applizierte Zementvolumen sowie eine unkorrigierte Kyphose werden in der Literatur diskutiert (246-249).

Daher stellt sich in Anbetracht der unsicheren Datenlage die Frage, inwieweit der Nutzen einer prophylaktischen Augmentation dessen Risiken überwiegt und somit gerechtfertigt ist.

Um dies zu beantworten, sei hier exemplarisch die Metaanalyse von Chen et al aus 2021 aufgeführt. Insgesamt wurden von den Autor:innen nach Berücksichtigung aller Ausschlussfaktoren sechs Studien mit 618 Patient:innen in die Auswertung aufgenommen, wobei 287 keine prophylaktische Augmentation des Anschlusssegments erhielten, 331 hingegen schon (250).

Dabei zeigte sich kein Unterschied zwischen den beiden Gruppen hinsichtlich der allgemeinen Inzidenz von Wirbelkörperfrakturen (OR: 0,509; 95 %-KI: 0,184–1,409) oder der Inzidenz von Anschlussfrakturen des benachbarten (OR: 0,689; 95 % KI: 0,109–4,371) oder weiter entfernten Wirbelkörpers (OR: 0,535; 95 %-KI: 0,167–1,709) (250).

Auch die prophylaktische Augmentation im Anschluss an eine rigide Versorgung wurde hinsichtlich des Risikos für Anschlussfrakturen untersucht. In der Theorie erhofft man sich durch die Zementaugmentation eine bessere Lastverteilung am Übergang zwischen dem starren Implantat und dem angrenzenden Wirbelkörper. Gleichwohl diese Annahmen biomechanisch bestätigt werden konnte, bleibt der klinische Nutzen bzw. Einfluss unklar, sodass die prophylaktische Kyphoplastie in diesen Fällen kritisch hinterfragt werden muss (249, 251).

Allerdings gibt es auch eine Reihe von Indikationen, bei denen sich eine prophylaktische Augmentation als günstig erwiesen hat. In diesem Zusammenhang zu nennen sind „Sandwich-Wirbelkörper“ (Wirbelkörper in Lokalisation zwischen zwei zementaugmentierten Wirbelkörpern), also auch Situationen mit einem intraoperativen Zementaustritt in das Bandscheibenfach, wie auch persistierende kyphotische Deformitäten (252, 253).

Empfehlung 40:		Neu Stand 2024
<i>Die aktuelle Evidenz bietet keine Argumente für die prophylaktische Augmentation der Anschlusssegmente im Rahmen von Kypho- bzw. Vertebroplastien als auch nach längerstreckigen Fusionen. Unter Berücksichtigung der Risiken sollte sie daher bis auf wenige Ausnahmen nicht durchgeführt werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Empfehlung 41:		Neu Stand 2024
<i>Eine prophylaktische Augmentation kann in folgenden Fällen erwogen werden, um der erwiesenermaßen erhöhten Rate an Anschlussfrakturen bei diesen Konstellationen entgegenzuwirken: „Sandwich-Wirbelkörper“, bei intraoperativen Zementaustritten in das Bandscheibenfach sowie bei persistierender kyphotischer Deformität.</i>		
Konsensstärke	92,3 %	

5.8 Postoperative Behandlung

Nach einer operativen Versorgung ist eine körperliche Aktivierung durch physiotherapeutische Maßnahmen erforderlich. Durch die Stärkung der Skelettmuskulatur kann die Koordination verbessert und das Risiko eines erneuten Sturzes vorgebeugt werden.

Sherrington et al. konnten in Ihrer Metaanalyse von 88 Studien mit 19.478 Patient:innen zeigen, dass postoperative Übungsprogramme die Inzidenz eines erneuten Sturzes signifikant reduzierten (254). Die Übungen hatten einen größeren Effekt, wenn sie Balanceübungen beinhalteten und mehr als 3 Stunden pro Woche durchgeführt wurden.

Zheng et al. evaluierten retrospektiv 2202 mittels Vertebroplastie versorgte Patient:innen (255). Übungen, die vier Mal pro Woche für 30min durchgeführt wurden, minderten das Risiko einer Refraktur.

Auch in der prospektiv randomisierten Studie von Deng et al. an 152 Patient:innen nach Vertebroplastie führte die Stärkung der Rückenmuskulatur zu einer Schmerzreduktion. Im Gegensatz zur Kontrollgruppe ließ sich kein Verlust der Wirbelkörperhöhe und signifikant weniger Wirbelkörper-Refrakturen nachweisen (256). Zusätzlich wiesen bereits frühere Studien nach, dass körperliche Aktivität von mindestens 3 Stunden pro Woche zu einer Verbesserung der Knochendichte führt (257-259).

Howe et al. zeigten in ihrer Metaanalyse von 43 RCTs mit 4320 Teilnehmern, dass ein kombiniertes Übungsprogramm die Knochendichte in der Wirbelsäule erhöhen kann (260).

Für die postoperative Orthesenversorgung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen gibt es nur vereinzelte Studien, die dem Evidenzlevel III oder darunter zuzuordnen sind. Ein therapeutischer Nutzen in Bezug auf Komplikationen oder Lebensqualität konnte bisher nicht nachgewiesen werden (261).

Empfehlung 42:		Neu Stand 2024
<i>Eine postoperative Orthesenbehandlung soll nur unter individuell geprüften Indikationsstellungen erfolgen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

5.9 Risiken und Frühkomplikationen

5.9.1 Majorkomplikationen

Bei den operativen Verfahren haben die Zementaugmentierungstechniken bedingt durch ihre minimale Invasivität eine geringe Komplikationsrate bezogen auf „major complications“ wie Wundinfektionen, Revisionsoperationen, Herzinfarkt etc. In einer Metaanalyse von 26 Studien wiesen Bouza et al. eine Komplikationsrate von 2% für Kyphoplastien und 3.9% für Vertebroplastien nach (262). Eine aktuellere Studie unter Verwendung des American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program (ACS-NSQIP) Datensatzes zeigte eine ähnliche Rate von 2,1% für Kyphoplastien und 4,9% für Vertebroplastien (263).

5.9.2 Zementleckage

Die Zementleckage ist eine häufige Komplikation der Zementaugmentierungstechniken, welche bei klinischer Inapparenz als „minor complication“ angesehen wird, jedoch immer mit dem Risiko des Auftretens von Major Komplikationen wie z.B. einer klinisch relevanten Lungenembolie verbunden ist. Der Prozentsatz dieser Komplikation variiert von Studie zu Studie und ist dabei von der Art der Detektion (Röntgen oder CT), der Zementviskosität und dem applizierten Volumen abhängig. In einer aktuellen Metaanalyse von 22 Studien mit 2872 Patient:innen wurde eine Leckagerate von 54,7% für die Vertebroplastie und 18,4% für die Kyphoplastie von Zhan et al. beschrieben (264). Die Metaanalyse von 8 Studien mit 558 Patient:innen durch Wang et al. wies ein geringeres Risiko für Zementleckagen sowohl für VP als auch KP bei hochviskösem Zement nach (265).

5.9.3 Anschlussfraktur

5.9.3.1 Anschlussfraktur bei Wirbelkörperaugmentations

Einige Autor:innen diskutierten Anschlussfrakturen als Komplikation der Zementaugmentierung (266) und vermuteten, dass die Erhöhung der Steifigkeit des zementierten Wirbels den Druck auf die Anschluss-Segmente erhöht (267). Dies hat sich in weiteren Studien nicht bestätigt. Ein gegenüber konservativ behandelten Patient:innen erhöhtes Risiko für Anschlussfrakturen durch Wirbelkörper-Zementaugmentation im Allgemeinen konnte in mehreren Studien nicht nachgewiesen werden (149, 150). Allerdings

stellt eine Zementleckage in die Bandscheibe einen Risikofaktor für Anschlussfrakturen dar (151).

Die Autor:innen der SAKOS Studie, die ein Titanimplantat mit Kyphoplastie verglichen, schlussfolgerten, dass durch die Wiederherstellung der sagittalen Balance und physiologischen Lastverteilung mittels Zementaugmentation das Risiko einer Anschlussfraktur gesenkt wird (182).

In dieser Diskussion muss man berücksichtigen, dass die Osteoporose selbst ein Risikofaktor für eine Wirbelkörper-Refraktur darstellt.

Die HUNT-Studie von Hoff et al. an 28.461 Teilnehmern zeigte, dass eine Osteoporose-Medikation die Frakturinzidenz signifikant senken konnte (268). Zhang et al. konnten durch eine kombinierte Therapie aus Calcitonin und Bisphosphonaten die Inzidenz von Wirbelkörper-Refrakturen signifikant senken (255).

Dagegen konnten Kawabate et al. bei ihrer retrospektiven Multicenterstudie an 159 Patient:innen durch die Gabe von Teriparatid im Vergleich zu Bisphosphonaten das Auftreten mechanischer Komplikationen zudem signifikant reduzieren (269).

Zusätzlich zur Osteoporose wird von einigen Autor:innen die Sarkopenie als Risikofaktor für eine Anschlussfraktur postuliert. Dies wiesen Lidar et al. in einer kleinen Studie von 98 Patient:innen nach (270). In einer weiteren Studie an 68 Patient:innen sahen Krenzlin et al. in der Sarkopenie die Hauptursache für Implantatversagen nach dorsaler Instrumentierung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen (271). Metaanalysen oder RCTs liegen zu diesem Thema jedoch bis dato nicht vor.

5.9.3.2 Anschlussfraktur bei Instrumentierungen

Bei der Instrumentierung ist die Anschlussfraktur ein Risiko, bei dem das physiologische Alignment der Wirbelsäule eine wichtige Rolle spielt. In einem Finite-Elemente-Modell zeigten Okamoto et al., dass eine Kyphosierung von 20° den Stress auf die Anschlusswirbelkörper deutlich erhöht (272). In einer retrospektiven Studie mit 73 Patient:innen, die mittels Hybridinstrumentierung versorgt wurden, wiesen Spiegl et al. eine signifikante Korrelation zwischen Repositionsverlust und Anschlussfraktur nach (173). Diese Beobachtung wurde auch von Gu et al. an 68 Patient:innen gemacht, die entweder mittels Hybridinstrumentierung oder Vertebroplastie versorgt wurden (178). Die Zementaugmentation der Schrauben wiederum

kann laut einiger Studien zur Degeneration der Bandscheiben im anschließenden Segment führen (273, 274).

In einem aktuellen 10-Jahres Follow-up von über 8000 Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen wurden eine Komplikationsrate im operativen Kollektiv von 6,3% beschrieben, wobei die beiden häufigsten Komplikationen das Implantatversagen (1,8%) und Wundinfektionen [1,3%] waren (275). Die Inzidenz der Infektion entspricht in etwa der von Horn et al., die mit dem Datensatz des American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement Program (ACS-NSQIP) mit 90.551 Patient:innen eine Inzidenz von 1,4% nachwiesen (276). Beim Vergleich von perkutanen mit offen durchgeführten Instrumentierungen konnten die bisherigen Metaanalysen keinen signifikanten Unterschied in der postoperativen Komplikationsrate, sondern nur eine Tendenz der geringeren Infektionsrate bei perkutanen Verfahren nachweisen (277, 278). Den Autor:innen ist keine Studie bekannt, die gezielt die Infektionsrate bei operativ versorgten osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen evaluierte.

5.9.4 Klinische und radiologische Verlaufskontrollen bei operativer Therapie

Nach einer operativen Versorgung werden in der Regel regelmäßige klinische und radiologische Kontrollen durchgeführt. Die ersten Kontrollen erfolgen kurz nach der Operation, um den Erfolg des Eingriffs zu beurteilen und mögliche Komplikationen zu erkennen. Speziell bei operierten Patient:innen ist die Wunde oder Narbenregion gründlich zu untersuchen und zu palpieren um Hinweise für eine Entzündung, Flüssigkeitsansammlungen oder Faszieninsuffizienzen ausschließen zu können.

Für die sich anschließenden Verlaufskontrollen bestehen keine klaren Empfehlungen. Diese können je nach operativem Verfahren und individuellen Patient:innenfaktoren variieren.

Empfehlung 43:		Neu Stand 2024
<i>Nach operativer Therapie sollten Kontrolluntersuchungen konventionell radiologisch im Stehen erfolgen, insbesondere nach Erstmobilisation und 3 Monaten. Bei erneutem Auftreten von Beschwerden oder Befundverschlechterung soll eine unverzügliche Röntgenkontrolle erfolgen.</i>		
Konsensstärke	100 %	

6. WEITERBEHANDLUNG

6.1 Verlaufsbeurteilung und Therapieevaluation

Zur Verlaufsbeurteilung des Erfolgs der Behandlung osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen stehen mehrere Messinstrumente unterschiedlicher Dimension und Granularität zur Verfügung. Sehr vereinfachte globale Parameter sind Mortalität, Schmerz und radiographische Parameter. Angesichts der zunehmenden Lebenserwartung und erhöhter funktioneller Ansprüche auch im hohen Alter sind diese zur Beurteilung des Behandlungserfolges allein nicht ausreichend. Hier stehen Messinstrumente zur Erhebung funktioneller und Patient:innen-subjektiver Parameter zur Verfügung.

6.1.1 Radiologisches Behandlungsergebnis

Die in der Literatur am häufigsten beschriebenen radiologischen Ergebnisse sind das Auftreten einer neuen weiteren (Anschluss-)Fraktur, der monosegmentale kyphotische Winkel im Bereich der Wirbelkörperfraktur und die Wirbelkörperhöhe (279, 280).

Die Zeitpunkte der Messung variieren jedoch: Das Auftreten neuer Wirbelfrakturen wird in den meisten Studien nach drei und 24 Monaten berichtet, während der kyphotische Winkel am häufigsten nach 12 Monaten gemessen wurde (152, 158, 159, 279, 281-283).

Eine eindeutige Korrelation zwischen dem monosegmentalen kyphotischen Winkel und dem klinischen Ergebnis wurde bisher noch nicht nachgewiesen. Studien zeigen jedoch einen Zusammenhang zwischen einer generellen Hyperkyphose und der körperlichen Funktion, Lebensqualität und Mortalität (279, 284).

6.1.2 Schmerz

Einfach zu erheben und damit häufig zur Beurteilung des klinischen Ergebnisses verwendet, werden die resultierende Schmerzreduktion sowie Mortalität und Verlust an Mobilität und Selbstständigkeit.

Die Schmerzsituation kann durch die Visual Analogue Scale (VAS: 0 bis 10; 0: kein Schmerz; 10: maximaler Schmerz) angegeben werden. Es handelt sich um ein einfach zu erhebendes und gut validiertes jedoch unspezifisches Messinstrument (285). Die in der Literatur am häufigsten verwendeten Zeitpunkte sind der Tag der stationären Aufnahme, 1 Woche nach Intervention sowie nach 3, 6 und 12 Monaten (279).

6.1.3 Invalidität und Funktion

Die in der Literatur am häufigsten verwendeten Scores zur Erhebung von Invalidität und körperlicher Funktion nach osteoporotischen Wirbelfrakturen sind der Oswestry Disability Index (ODI) und der Roland-Morris Disability Questionnaire (RMDQ) (44, 279, 286, 287).

Der ODI wurde ursprünglich für Patient:innen mit chronischen Kreuzschmerzen entwickelt. Diese Skala ist ein funktionelles Maß für die Lebensqualität, das sechs Items in 10 Dimensionen umfasst.

Der Roland-Morris Disability Questionnaire (RMDQ) ist ein Instrument zur Beurteilung des Gesundheitszustands bei Kreuzschmerzen. Er ist so konzipiert, dass er nur die körperliche Behinderung aufgrund von Kreuzschmerzen bewertet (die Werte reichen von 0 bis 23, wobei höhere Werte eine schlechtere körperliche Funktion anzeigen).

Die häufigsten in der Literatur genannten Zeitpunkte der Nachsorge-Messungen sind der Tag der stationären Aufnahme, 1 Woche nach Intervention sowie 3, 6 und 12 Monate (44, 286).

Für eine genauere Quantifizierung der Gehfähigkeit bietet sich der gut validierte „Timed Up and Go“-Test an (35). Dabei wird die Zeit gestoppt, die ein/e Patient:in benötigt, selbständig aus dem Sitz aufzustehen, eine Strecke von 3 m zurückzulegen, umzukehren und sich wieder hinzusetzen. Es handelt sich um einen objektiven und einfach durchzuführenden Test, der auch bei dementen Patient:innen zur Anwendung kommen kann.

Der Grad der Selbständigkeit spielt insbesondere für den älteren Patient:innen eine entscheidende Rolle. Als unspezifischer Parameter eignet sich hier der poststationäre Aufenthaltsort (eigene Wohnung, eigene Wohnung mit Pflegestufe, betreutes Wohnen, Pflegeheim). Für eine genauere Quantifizierung der Selbständigkeit bietet sich der Barthel-Index an (288). Das Verlaufsmonitoring bietet sich primär im Rahmen der hausärztliche Versorgung an, wobei eine enge Zusammenarbeit und Kommunikation mit den behandelnden Orthopäden bzw. Unfallchirurgen anzustreben ist.

6.1.4 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (HRQoL)

Anerkannte unspezifische Scores für die Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sind der Short Form 36 General Health Survey (SF 36) sowie die EQ-5D Skala (289, 290). Beide erlauben über den Vergleich mit Normkollektiven Rückschlüsse auf das mentale und physische Allgemeinbefinden.

Die European Quality of Life-5 Dimensions (EQ-5D)-Skala (Skala von 0 bis 1, wobei 1 für perfekte Gesundheit steht) ist ein weit verbreiteter Fragebogen, der zudem kostenlos ist.

Der SF 36 ist ebenfalls ein bekannter und häufig verwendeter Fragebogen zur Bewertung der HRQoL. Die Items der einzelnen Unterskalen werden gemittelt, um einen Wert zwischen 0 und 100 zu erhalten, wobei ein niedrigerer Wert eine größere Behinderung bedeutet. Darüber hinaus verfügt der SF-36 über eine physische und eine psychische Komponente (PCS bzw. MCS). Der SF 36 ist in der Literatur allgemein verbreiteter, jedoch deutlich zeitintensiver und kann damit gerade bei sehr alten Patient:innen dem sehr kurzen EQ-5D unterlegen sein, sodass in der Literatur zu osteoporotischen Wirbelfrakturen letzterer häufiger verwendet wird (44, 279).

Im Rahmen der Ergotherapie wird das Occupational Performance Measure (COPM) durchgeführt, um problematische Anliegen für den Alltag zu identifizieren. Das COPM ist ein halb strukturiertes Interview, welches Aktivitätsanliegen für die bevorstehende Therapie hierarchisiert und von Patient:innen nach Wichtigkeit, Zufriedenheit und der Ausführung von 0 -10 bewertet wird, wobei 0 nicht wichtig, nicht zufrieden bzw. eine schlechte Ausführung bedeutet und 10 das Maximum an Zufriedenheit, Ausführung und Wichtigkeit darstellt. Das COPM ist das bekannteste Messinstrument in der Ergotherapie und wurde in zahlreichen Studien auf Reliabilität (291), Validität (292-296), Veränderungssensitivität (297-299) und

Praktikabilität (293, 294, 298) geprüft. Vergleichbare Patient:innengruppen, welche eine Einschränkung im Alltag und besonders in der Mobilität aufwiesen, waren nach Hüftfraktur, Rückenmarksverletzungen, Neurorehabilitation, Schlaganfall und ein gemischtes Spektrum innerhalb der orthopädischen und neurologischen Rehabilitation.

Zusammengefasst ist die parallele Erfassung mehrerer Messinstrumente zur Beurteilung des Behandlungsverlaufs nach osteoporotischen Wirbelfrakturen notwendig.

Empfehlung 44:		Neu Stand 2024
<i>Zur Verlaufsbeurteilung der Schmerzen nach osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen soll eine visuelle oder numerische Analogskala verwendet werden. Dabei sollte generell die numerische der visuellen Analogskala vorgezogen werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

Statement 45:		Neu Stand 2024
<i>Zur Beurteilung der Lebensqualität ist bei osteoporotischen Frakturen der thorakolumbalen Wirbelsäule der EQ 5D 5L geeignet.</i>		
Konsensstärke	100 %	

6.2 Spätkomplikationen

Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen können die Morbidität der Patient:innen akut und chronisch relevant beeinflussen. Im Wesentlichen sind zunehmende Bewegungseinschränkungen, chronische Schmerzen sowie Verlust der eigenständigen Lebensführung und reduzierte respiratorische Funktion zu nennen. Das Resultat ist eine erhebliche Einschränkung der Lebensqualität (300-303).

6.2.1 Mortalität

In der prospektiven Kohortenstudie von Ensrud et al. wurde für Patient:innen mit osteoporotisch bedingter Wirbelkörperdeformität gegenüber an Osteoporose erkrankten

Patient:innen ohne Deformität eine signifikant erhöhte Mortalität und Häufigkeit stationärer Aufenthalte festgestellt (304).

Patient:innen mit >3 Frakturen haben gegenüber Patient:innen mit Osteoporose ohne Fraktur eine 4-fach erhöhte Mortalität. Untersuchungen der Mortalität an Frauen mit OVF zeigten, dass die Sterblichkeit nach Kyphoplastie (38.034 Patient:innen) im Vergleich zu konservativer Behandlung (168.104 Patient:innen) nur innerhalb der ersten 100 Tage reduziert ist (305). Bei weiterer Analyse der Subgruppen zeigte sich allerdings auch ein etwas älteres und morbideres Patient:innengut der nicht operierten Gruppe. Die unterschiedliche Gebrechlichkeit der Gruppen beeinflusst das Ergebnis der Mortalitätsraten nach OVF relevant. Andere Autor:innen konnten zwischen operierten Patient:innen und konservativer Therapie keine unterschiedliche Sterblichkeit feststellen. Sie stellten jedoch ebenfalls die Gebrechlichkeit zum Zeitpunkt der Fraktur als maßgeblichen Faktor heraus, der die Mortalität wesentlich beeinflusst (306). Niedrige präoperative Albumin-Level erhöhen das Risiko postoperativer Komplikationen (307). Die Mortalität ist nicht alleinig durch die Fraktur, sondern durch eine Kombination mit vorbestehenden Komorbiditäten bedingt.

6.2.2 Wirbelkörperfrakturen und Frakturen außerhalb der Wirbelsäule

Eine typische Komplikation nach osteoporotischen Wirbelkörperkompressionsfrakturen ist das Auftreten weiterer pathologischer Frakturen. Während das Auftreten weiterer osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen bereits nach einer Fraktur signifikant erhöht ist (2,5 fach), treten Frakturen außerhalb der Wirbelsäule (Radius, Schenkelhals) noch nicht signifikant gehäuft auf (1,08 fach). Erst das Auftreten von zwei oder einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur höheren Grades ist mit einer signifikanten Zunahme weiterer Frakturen außerhalb der Wirbelsäule (2-10 fach) assoziiert (308).

Der medikamentösen Therapie der Osteoporose kommt daher eine Schlüsselrolle in der Behandlung osteoporotisch bedingter Frakturen zu. Ziel ist die Steigerung der Stabilität und Steifigkeit der Spongiosa. Hinsichtlich der Indikation zur Basisdiagnostik und zum Beginn einer antiosteoporotischen Therapie verweisen wir auf die Empfehlungen der Leitlinie des Dachverbands der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaften e.V. (DVO) (13)

6.2.3 Kyphotische Deformität

Die zu beobachtenden osteoporotischen Kompressionsfrakturen an der Wirbelsäule bewirken neben den lokalen Veränderungen einen Strukturwandel des jeweiligen Bewegungssegments mit zunehmender Kyphosierung der Wirbelsäule. Dadurch bedingt stellt sich, wie zuvor bereits ausgeführt, eine Verlagerung des Körperschwerpunkts nach ventral ein, mit nachfolgender Veränderung des sagittalen Profils der Wirbelsäule. Die damit einhergehende vermehrte Beanspruchung der posterioren muskulären wie auch ligamentären Elemente führt zu einer Imbalance sowie Überforderung der autochthonen Rückenmuskulatur. Neben einer allgemeinen Progredienz der Schmerzsymptomatik bewirkt diese Veränderung einen bis um das 5-fache erhöhten Druck auf die benachbarten Wirbelkörper (309). Die Folge ist die Anschlussfraktur: ein Phänomen, das auch als „vertebral fracture cascade“ bezeichnet wird. Daneben führt die progrediente Kyphosierung zu einer Einschränkung des Atemvolumens (siehe Kap. 7.3.4), einer Einschränkung der Lebensqualität, einer Verminderung der Ganggeschwindigkeit und zu zunehmender Immobilisation (310). Für weitere Information verweisen wir auf die Ausführungen in Kapitel 6.8.

6.2.4 Restriktive pulmonale Funktionsstörung

Leech et al. beschrieb 1989 bereits eine mäßige Beeinträchtigung der pulmonalen Vitalkapazität, die in Abhängigkeit vom Schweregrad und Anzahl der frakturierten Brustwirbelkörper steht (311). Schlaich et al. ermittelten ebenfalls eine signifikant reduzierte Vitalkapazität und reduzierte forcierte Expirationsvolumen (FEV₁) beim Vergleich von RückenschmerzPatient:innen mit und ohne Fraktur. Die Ergebnisse bei osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen betragen allerdings noch 80% der Normalwerte (301). Dieser Effekt verstärkt sich bei pulmonal oder kardial vorerkrankten Patient:innen und wird durch Summation der negativen Effekte klinisch relevant. Die wesentlichen Veränderungen bestehen bei Messung der Vitalkapazität. Ähnlich wie bei der Skoliose und dem M. Bechterew handelt es sich bei Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen vorwiegend um eine restriktive pulmonale Funktionsstörung (312).

Die Hyperkyphose führt zu einer beeinträchtigten thorakalen Mobilität, woraus eine asymmetrische Belüftung resultiert. Die Bereiche reduzierter Ventilation werden nachfolgend durch den Euler Lijenstrand Mechanismus geringer perfundiert. Letztendlich entsteht eine Zunahme der Rechtsherzbelastung. Die reduzierte Belastbarkeit nach OVF lässt sich daher pathophysiologisch gut erklären.

6.2.5 Chronifizierung postoperativer Schmerzen

Hinrichs-Rocker et al. zeigen in ihrem Review, dass psychosoziale Prädiktoren wie Depressionen, psychologische Vulnerabilität, Stress und eine späte Rückkehr an den Arbeitsplatz ebenfalls zu beachten sind (313). Auch die Arbeit von Kehlet et al. erklärten die Wichtigkeit von psychologischen, sozialen und wirtschaftlichen Faktoren bei postoperativen Eingriffen (314). Sie erklären, dass psychosoziale Variablen wie Katastrophisierung, Vermeidung, Pessimismus und die wahrgenommene soziale Unterstützung essenziell in der bio-psycho-sozialen Sichtweise sind (315).

In der Metaanalyse von Möckel und Treusch konnte der Effekt von Ergotherapie bei Depressionen aufgezeigt werden (315).

Die psychologische Vulnerabilität wird beschrieben als eine niedrige Schwelle für die Beeinflussung und ein Risiko unzweckmäßiger Reaktionen in sozialer Interaktion und gesundheitsbezogenem Verhalten (316). Die Arbeit von Siegel et al. zeigt auf, dass Ergotherapeut:innen durch psychoedukative Interventionen, wie generelle Patient:innenschulung, Selbstmanagement, kognitiver Verhaltenstherapie und individuelle Gelenkschutzmaßnahmen, die Funktion, Schmerzen, Müdigkeit, Depression und Selbstwirksamkeit verbessern können (317). Die Wichtigkeit dieser Parameter treffen auch auf Patient:innen nach einer osteoporotischen Wirbelsäulenfraktur zu.

6.3 Rehabilitation

Es liegt keine Evidenz zu speziellen Maßnahmen der Rehabilitation osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen vor. Jedoch ist eine an die konservative oder operative Akutbehandlung anschließende Therapie sinnvoll (21).

Zum Ablauf der Rehabilitationsmaßnahme verweisen wir auf die S2k-Leitlinie „Rehabilitation nach traumatischen Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne neurologische Ausfälle“ (318).

6.3.1 Ziel der Rehabilitation

Hier verweisen wir auf die S2k-Leitlinien „Rehabilitation nach traumatischen Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne neurologische Ausfälle“ (100)

Empfehlung 46:		Neu Stand 2024
<i>Die Ziele einer Rehabilitationsmaßnahme bei Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen sollten neben physikalischen Behandlungseinheiten auch sozialmedizinische Aspekte, wie die Rückkehr in das soziale Umfeld und die Sicherung der häuslichen Versorgung, berücksichtigen.</i>		
Konsensstärke	86,7 %	

6.3.2 Zeitpunkt der Rehabilitation

Es gibt zum aktuellen Zeitpunkt keinen evidenzbasierten Zeitraum des Rehabilitationsbeginns bei Patient:innen mit osteoporotischen Wirbelkörperfrakturen. Bei Patient:innen, welchen eine geriatrische Rehabilitation empfohlen wird, kann es sinnvoll sein, diese nahtlos an die Akutbehandlung anzuschließen, um eine Versorgungslücke zu vermeiden. Auch sonst sollte in unseren Augen eine orthopädische Anschlussheilbehandlung (AHB) zeitnah angestrebt werden, sobald die Rehabilitationsfähigkeit gegeben ist.

6.3.3 Einrichtung

Patient:innen mit neurologischen Defiziten wird gemäß dem AHB-Indikationskatalog die Durchführung einer neurologischen Rehabilitation empfohlen.

Gemäß des G-BA-Beschluss vom 16.12.2021 sollte Patient:innen, welche folgende Kriterien erfüllen, eine geriatrische Rehabilitation empfohlen werden:

- Erhöhtes Lebensalter von 70 Jahren oder älter
- Geriatrietypische Multimorbidität mit rehabilitationsbegründender Funktionseinschränkung

Empfehlung 47:		Neu Stand 2024
<i>Bei der Wahl der Rehabilitationseinrichtung sollten neben medizinischen auch individuelle und soziale Hintergründe beachtet werden.</i>		
Konsensstärke	100 %	

7. PROGNOSE

7.1 Schmerzen und Medikation

Insgesamt ergeben sich aus der Literatur divergierende Aussagen über den klinischen Verlauf osteoporotischer Wirbelkörperfrakturen. So berichtet Venmanns et al., dass der überwiegende Teil der Patient:innen mit osteoporotischen Frakturen nur über minimale bis mäßige Schmerzen klagt, die innerhalb von Wochen unter ambulanter medizinischer Behandlung nachlassen. Allerdings kam es auch in diesem Kollektiv bei rund 40 % der Betroffenen, die initial unter starken Schmerzen litten, zu einer Chronifizierung (319). Chen et al. bezifferten den Anteil an Patient:innen mit chronischen Schmerzen nach sechs Monaten gar auf 65 % (320).

Ebenso gegen einen gutartigen Verlauf sprechen die Ergebnisse von Hasserius et al.: in ihrem Kollektiv berichteten auch noch zwölf Jahre nach der Diagnose einer osteoporotischen Wirbelkörperfraktur 72 % der Patient:innen über deutliche Rückenschmerzen im Vergleich zu 33 % einer Kontrollgruppe (Alters- und Geschlechtsteilnehmer aus der Europäischen Vertebral-Osteoporose-Studie). Ferner litten 42 % unter einer deutlichen Einschränkung des Gesundheitszustandes, verglichen mit 19% in der Kontrollgruppe (321).

Mit Blick auf den Einfluss der unterschiedlichen Behandlungsmodalitäten auf das Schmerzlevel verweisen wir auf die vorangegangene Therapiekapitel (Kapitel 5 und 6).

7.2 Chirurgische Komplikationen

Zu den relevantesten Komplikationen der Vertebroplastie oder Kyphoplastie zählen wie in den jeweiligen Kapiteln beschrieben, Zementextravasate, Lungenembolien, verfahrensbedingte Frakturen, Blutungen, Gefäß- oder Nervenverletzungen, (Hämato-)Pneumothorax, Infektionen sowie neu aufgetretene neurologische Defizite und Tod.

Zusammenfassend liegt die Rate an klinisch relevanten chirurgischen Komplikationen bei VP und KP bei rund 2 %. Bei dorsalen spinalen Instrumentierungen steigt sie mit dem Ausmaß der Invasivität (175, 322). Eine Korrelation zwischen chirurgischer Komplikationsrate und zunehmender OF-Klassifikation konnte nicht dargestellt werden (176). Dem hingegen stieg mit steigendem OF-Wert die allgemeine Komplikationsrate deutlich an (176).

Eine Analyse von 4622 Operationen bei osteoporotischen Frakturen ergab eine Gesamtkomplikationsrate von 6,3 %, wobei Implantatversagen die häufigste Komplikation darstellte (28 %), gefolgt von einer lokalen Infektion (20 %) und einer postoperativen neurologischen Verschlechterung (16 %) (275).

7.3 Allgemeine Komplikationen

In einer retrospektiven Studie an 239 Patient:innen über neunzig Jahren lag die Komplikationsrate nach operativer Intervention unter Vollnarkose bei 21,4 %. Hervorzuheben ist dabei postoperatives Erbrechen, Delir, hypertensive Entgleisung, Herzrhythmusstörungen, Herzinsuffizienz, refraktäre Hyperglykämie, Blähungen und Verstopfung.

Dabei bleibt zu betonen, dass der Großteil der allgemeinen Komplikationen durch eine Vielzahl bereits bestehender Faktoren (Alter, Komorbiditäten, Operationstrauma, Anästhesie, Gesundheitssystem) mitbedingt ist. Eine Durchführung in Lokalanästhesie kann nicht empfohlen werden.

7.4 Anschlussfrakturen

Die Fraktur eines angrenzenden Wirbelkörper wurden als spezifische Komplikation für einen bestimmten operativen Eingriff angesehen. Ein Vergleich der Zulassungsstudien für antiosteoporotische Medikamente zeigte ungefähr die gleiche Inzidenz von osteoporotischen Anschlussfrakturen wie nach VP, KP oder dorsalen Instrumentierungen (265).

Zu unterscheiden ist bei den jeweiligen Risikofaktoren zwischen beeinflussbaren und nicht beeinflussbaren Faktoren, wobei Alter und Geschlecht in letzter Gruppe den überwiegenden Einfluss haben. Der stärkste isolierte Faktor für eine neue Wirbelfraktur ist die Anzahl bereits bestehender Frakturen: In der Global Longitudinal Study of Osteoporose in Women (GLOW) wurden bei den Patient:innen (>55. Lebensjahr) nach jeder Wirbelkörperfraktur nach weiteren Frakturen gefahndet (323). Für 51.762 Patient:innen lagen Follow-up-Daten vor. Dabei erlitten 17,6% eine Fraktur, 4,0 % zwei Frakturen und 1,6 % hatten seit ihrem 45. Lebensjahr drei oder mehr Frakturen. Innerhalb eines zweijähriger Nachbeobachtungszeitraum erlitten 3.149 Frauen 3.683 Frakturen. Im Vergleich zu Frauen ohne vorherige Frakturen war die Wahrscheinlichkeit, dass es bei Frauen mit einer, zwei, drei oder mehr früheren Frakturen zu einer Fraktur kam, um das 1,8-, 3,0- bzw. 4,8-fache höher. Bei Patient:innen mit drei oder mehr vorangegangenen Frakturen war die Wahrscheinlichkeit, einen neuen Wirbelbruch zu erleiden, um das 9,1-fache höher. Der stärkste Prädiktor für das Auftreten von Wirbel- und Hüftfrakturen waren vorangegangene Wirbelfrakturen (HR 7,3).

Insgesamt erhöht die Zementaugmentation das Risiko einer Anschlussfraktur nicht (149, 150). So entwickelt durchschnittlich, unabhängig von der Therapie, einer von fünf Patient:innen innerhalb von 12 Monaten nach der ersten osteoporotischen Fraktur eine weitere (24). Höher noch ist das Risiko bei Patient:innen mit multiplen osteoporotischen Frakturen in der Vorgeschichte. Auch drei Metaanalysen fanden keinen Unterschied hinsichtlich des Auftretens weiterer Frakturen zwischen konservativ und operativ behandelter Patient:innen (324-326).

Takahashi et al. analysierten Risikofaktoren für das Auftreten neuer osteoporotischer Frakturen. Dabei schlossen sie 109 Patient:innen in ihre Untersuchung ein, wobei 32 Patient:innen (29 %) innerhalb der 6-monatigen Nachuntersuchung eine osteoporotische

Anschlussfraktur erlitten. In einem multiplen Regressionsmodell zeigte sich ein hoher präoperativer Keilwinkel ($>25^\circ$), ein Korrekturgrad $>10^\circ$, eine vorangegangene osteoporotische Fraktur und eine thorakolumbale Frakturlokalisierung als prädiktive Marker (327).

7.5 Sagittales Profil

Alle operativen Verfahren sind hinsichtlich der lokalen (LKA) sowie segmentalen Kyphosekorrektur der konservativen Behandlung überlegen. Dabei ist das Ausmaß der operativen Korrektur umso größer, je größer die anfängliche Deformität ist.

In der Arbeit von Dohm et al konnte in 80,6 % (154/191) der Patient:innen nach Kyphoplastie sowie in 75,1 % (142/189) nach Vertebroplastie eine Wiederaufrichtung der frakturbedingten Kyphose erreicht werden. Langfristig war der Effekt jedoch minimal: So belief sich nach 24 Monaten die Kyphosekorrektur auf $2,1^\circ$ nach Kyphoplastie und auf $1,4^\circ$ nach Vertebroplastie (328)

In einer anderen Studie mit einer Nachbeobachtungszeit von fünf Jahren kam es zu einer statistisch signifikanten Verbesserung des Keilwinkels um $8,0^\circ$ in der Kyphoplastie und um $3,3^\circ$ in der Vertebroplastie Gruppe (329).

Generell waren die langfristigen Ergebnisse hinsichtlich der Rekonstruktion der Wirbelkörperhöhe sowie der Wiederherstellung des sagittalen Profils im Kollektiv versorgt mit Hybridversorgung deutlich besser als bei alleiniger Kyphoplastie (163, 178) So zeigte sich in der Arbeit von Gu et al. in beiden Kollektiven postoperativ eine signifikante Verbesserung der Wirbelkörperhöhe im Vergleich zum präoperativen Befund mit einem signifikanten Vorteil der Hybridversorgung (178). Noch im 2-jährigen Nachbeobachtungszeitraum blieb der Unterschied bestehen, in der Gruppe der Kyphoplastie kam es hingegen zu einer weiteren signifikanten Verschlechterung. Vergleichbar auch die Ergebnisse von Li et al.: hier zeigte sich ein signifikanter Vorteil der Hybridversorgung bereits nach 6 Monaten (330). Mit den Ergebnissen einhergehend auch die Beobachtungen hinsichtlich der Rekonstruktion des sagittalen Profils: so zeigte sich direkt postoperativ in beiden Kollektiven eine Verbesserung der frakturbedingten Kyphose mit wiederum signifikanten Vorteilen der Hybridversorgung. Hier blieben die Werte im Verlauf auch konstant, wobei im Kollektiv der mittels Kyphoplastie versorgten Patient:innen eine stetige Verschlechterung zu beobachten gewesen ist (178).

Zusammenfassend sind die Ergebnisse einer operativen Intervention umso besser, je größer der anfängliche kyphotische Keilwinkel ist. Der vertebrale kyphotische Winkel wird am stärksten beeinflusst, gefolgt vom monosegmentalen Gardner Winkel und bisegmentalem Cobb-Winkel. Die sagittale Vertikalachse hingegen wird nicht wesentlich verändert.

Stationäre Wiederaufnahme

Die 30-Tage-Wiederaufnahmerate beträgt bis zu 17 %, wobei jeweils etwa ein Viertel auf frakturassoziierte Gründe sowie andere muskuloskelettale Erkrankungen zurückzuführen sind (331).

7.6 Mortalität

Wirbelkörperkompressionsfrakturen (OF) sind mit einem erhöhten Mortalitätsrisiko oder – in den meisten Fällen berichtet – einer erhöhten Fallsterblichkeitsrate (CFR) verbunden.

In einer doppelblinden Studie zur Wirkung von Clodronat wurden insgesamt 677 Patient:innen mit Osteoporose (28–88 Jahre) eingeschlossen, wobei 352 Patient:innen eine osteoporotische Fraktur erlitten hatten. Während einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 3,2 Jahren verstarben 6 Patient:innen im Kollektiv ohne, aber 31 mit bestehender osteoporotischer Fraktur. Statistisch hatten Patient:innen mit vorbestehender osteoporotischer Fraktur eine 4,4-fach höhere Sterblichkeitsrate (95 %-KI: 1,85–10,6). Selbst nach Berücksichtigung medizinischer Prädiktoren für ein schlechtes Outcome blieb das Risiko weiterhin erhöht (HR 2,4; 95 %-KI: 0,93–6,23) (332).

Lau et al. analysierten die Sterblichkeitsraten von 97.142 Patient:innen mit sowie 428.956 ohne osteoporotische Fraktur. Dabei zeigte sich, dass die Sterblichkeitsraten bei Patient:innen mit OF doppelt so hoch war wie in der entsprechenden Kontrollgruppe. So betrug die 3- und 5-Jahres-Mortalitätsraten für Patient:innen mit OF 46 % bzw. 69 %, verglichen mit 22 % bzw. 36 % (333).

Gleichwohl die Ursachen für die erhöhte Sterblichkeit sicherlich multifaktoriell bedingt sind, leitet der mit der Fraktur einhergehende Strukturwandel des jeweiligen Bewegungssegments mit zunehmender Kyphosierung der Wirbelsäule die von Gold beschriebene Abwärtsspirale ein (9).

Das Ergebnis ist die zuvor beschriebene deutlich erhöhte Sterblichkeit, welche gemäß einer Untersuchung von Johnell et al. nach 5 Jahre über jener nach Hüftfrakturen liegt (72%. versus 59 %) (10).

8. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: OF Score zur Indikationsfindung.....	12
Tabelle 2: Zusammenfassung der Risikofaktoren zu chronischen Schmerzen und Funktionseinschränkungen bei konservativer Therapie (PI Pelvic Incidence, LL Lumbar Lordosis, PT Pelvic Tilt).....	44

9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: OF Klassifikation mit 5 Untergruppen (20)	10
--	----

10. LITERATURVERZEICHNIS

1. Mpotsaris A, Abdolvahabi R, HOFFLEITH B, Nickel J, Harati A, Loehr C, et al. Percutaneous vertebroplasty in vertebral compression fractures of benign or malignant origin: a prospective study of 1188 patients with follow-up of 12 months. *Dtsch Arztebl Int.* 2011;108(19):331-8.
2. Strom O, Borgstrom F, Kanis JA, Compston J, Cooper C, McCloskey EV, et al. Osteoporosis: burden, health care provision and opportunities in the EU: a report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Arch Osteoporos.* 2011;6:59-155.
3. Hadji P, Klein S, Gothe H, Haussler B, Kless T, Schmidt T, et al. The epidemiology of osteoporosis--Bone Evaluation Study (BEST): an analysis of routine health insurance data. *Dtsch Arztebl Int.* 2013;110(4):52-7.
4. Melton LJ, 3rd, Thamer M, Ray NF, Chan JK, Chesnut CH, 3rd, Einhorn TA, et al. Fractures attributable to osteoporosis: report from the National Osteoporosis Foundation. *J Bone Miner Res.* 1997;12(1):16-23.
5. Papaioannou A, Watts NB, Kendler DL, Yuen CK, Adachi JD, Ferko N. Diagnosis and management of vertebral fractures in elderly adults. *Am J Med.* 2002;113(3):220-8.
6. Rupp M, Walter N, Pfeifer C, Lang S, Kerschbaum M, Krusch W, et al. The incidence of fractures among the adult population of Germany: an analysis from 2009 through 2019. *Deutsches Ärzteblatt International.* 2021;118(40):665.
7. 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(3):320-3.
8. Radiology ACo (2018) ACR–SPR–SSR practice parameter for the performance of musculoskeletal quantitative computed tomography (QCT). American College of Radiology RAVhwao.
9. Gold DT. The clinical impact of vertebral fractures: quality of life in women with osteoporosis. *Bone.* 1996;18(3 Suppl):185S-9S.
10. Johnell O, Kanis JA, Oden A, Sernbo I, Redlund-Johnell I, Pettersson C, et al. Mortality after osteoporotic fractures. *Osteoporos Int.* 2004;15(1):38-42.
11. Scheyerer MJ, Lenz M, Jacobs C, Pumberger M, Spiegl UJA, Ullrich BW, et al. Mediating Medical Comorbidities in Geriatric Patients Undergoing Surgery for OVCF: From Preoperative Screening to Risk and Outcomes Optimization. *Global Spine J.* 2023;13(1_suppl):6S-12S.
12. Genant HK, Wu CY, van Kuijk C, Nevitt MC. Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *J Bone Miner Res.* 1993;8(9):1137-48.
13. DVO. Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose - Leitlinie des Dachverbandes der Deutschsprachigen Wissenschaftlichen Osteologischen Gesellschaft e.V. 2023.
14. Kanchiku T, Taguchi T, Kawai S. Magnetic resonance imaging diagnosis and new classification of the osteoporotic vertebral fracture. *J Orthop Sci.* 2003;8(4):463-6.
15. Sugita M, Watanabe N, Mikami Y, Hase H, Kubo T. Classification of vertebral compression fractures in the osteoporotic spine. *J Spinal Disord Tech.* 2005;18(4):376-81.
16. Magerl F, Aebi M, Gertzbein SD, Harms J, Nazarian S. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries. *Eur Spine J.* 1994;3(4):184-201.
17. Vaccaro AR, Oner C, Kepler CK, Dvorak M, Schnake K, Bellabarba C, et al. AOSpine thoracolumbar spine injury classification system: fracture description, neurological status, and key modifiers. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013;38(23):2028-37.
18. Schnake KJ HP, Franck A et al Development of a classification system (OF-classification) and of a score for therapeutic decision making (OF-score) for osteoporotic thoracolumbar fractures. *Eur Spine J* 22:S2590. *Eur Spine J* 2013;22:S2590.
19. Schnake KJ, Bula P, Spiegl UJ, Muller M, Hartmann F, Ullrich BW, et al. [Thoracolumbar spinal fractures in the elderly : Classification and treatment]. *Unfallchirurg.* 2017;120(12):1071-85.

20. Schnake KJ, Blattert TR, Hahn P, Franck A, Hartmann F, Ullrich B, et al. Classification of Osteoporotic Thoracolumbar Spine Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine J.* 2018;8(2 Suppl):46S-9S.
21. Blattert TR, Schnake KJ, Gonschorek O, Katscher S, Ullrich BW, Gercek E, et al. [Nonsurgical and surgical management of osteoporotic vertebral body fractures : Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU)]. *Orthopade.* 2019;48(1):84-91.
22. Schnake K BN, Blattert T Validation of a classification system for osteoporotic thoracolumbar fractures (OF-classification). *Eur Spine J.* 2014;23.
23. Schonrogge M, Lahodski V, Otto R, Adolf D, Damm R, Sitte-Zollner A, et al. Inter- and intraobserver reliabilities and critical analysis of the osteoporotic fracture classification of osteoporotic vertebral body fractures. *Eur Spine J.* 2022;31(9):2431-8.
24. Quinteros G, Cabrera JP, Urrutia J, Carazzo CA, Guiroy A, Marre B, et al. Reliability Evaluation of the New AO Spine-DGOU Classification for Osteoporotic Thoracolumbar Fractures. *World Neurosurg.* 2022;161:e436-e40.
25. Schnake KJ, Bouzakri N, Hahn P, Franck A, Blattert TR, Zimmermann V, et al. Multicenter evaluation of therapeutic strategies of inpatients with osteoporotic vertebral fractures in Germany. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2022;48(2):1401-8.
26. Scheyerer MJ, Spiegl UJA, Grueninger S, Hartmann F, Katscher S, Osterhoff G, et al. Risk Factors for Failure in Conservatively Treated Osteoporotic Vertebral Fractures: A Systematic Review. *Global Spine J.* 2022;12(2):289-97.
27. Mehkri Y, Chakravarti S, Sharaf R, Reddy A, Fakhry J, Kuo CC, et al. The 5-Factor Modified Frailty Index Score Predicts Return to the Operating Room for Patients Undergoing Posterior Spinal Fusion for Traumatic Spine Injury. *World Neurosurg.* 2023;175:e1186-e90.
28. (KKG) DfMDuIDiAdBfGBuBdAIdKfFdKiG.
29. (KKG) BfAuMBiAdBfGBuBdAIdKfFdKiG. ICD-10-GM Version 2023, Systematisches Verzeichnis, Internationale statistische Klassifikation der Krankheiten und verwandter Gesundheitsprobleme, 10. Revision. 2023.
30. Schmidt OI, Gahr RH, Gosse A, Heyde CE. ATLS® and damage control in spine trauma. *World Journal of Emergency Surgery.* 2009;4(1):9 %@ 1749-7922.
31. DGU. S3-Leitlinie Polytrauma / Schwerverletzten-Behandlung. AWMF online. 2023.
32. Todd C SD. What are the main risk factors for falls amongst older people and what are the most effective interventions to prevent these falls? Geneva: World Health Organization. WorldHealthOrganization–WHO. 2004.
33. Boyd CM, Darer J, Boult C, Fried LP, Boult L, Wu AW. Clinical practice guidelines and quality of care for older patients with multiple comorbid diseases: implications for pay for performance. *JAMA.* 2005;294(6):716-24.
34. Han CS, Hancock MJ, Downie A, Jarvik JG, Koes BW, Machado GC, et al. Red flags to screen for vertebral fracture in people presenting with low back pain. *Cochrane Database Syst Rev.* 2023;8(8):CD014461.
35. Podsiadlo D, Richardson S. The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J Am Geriatr Soc.* 1991;39(2):142-8.
36. Segal DN, Wilson JM, Staley C, Michael KW. The 5-Item Modified Frailty Index Is Predictive of 30-Day Postoperative Complications in Patients Undergoing Kyphoplasty Vertebral Augmentation. *World Neurosurg.* 2018;116:e225-e31.
37. Fairbank JC, Couper J, Davies JB, O'Brien JP. The Oswestry low back pain disability questionnaire. *Physiotherapy.* 1980;66(8):271-3.
38. DGA. S3-Leitlinie Behandlung akuter perioperativer und posttraumatischer Schmerzen. 2021.
39. Diacinti D, Guglielmi G, Pisani D, Diacinti D, Argiro R, Serafini C, et al. Vertebral morphometry by dual-energy X-ray absorptiometry (DXA) for osteoporotic vertebral fractures assessment (VFA). *Radiol Med.* 2012;117(8):1374-85.

40. Domiciano DS, Figueiredo CP, Lopes JB, Kuroishi ME, Takayama L, Caparbo VF, et al. Vertebral fracture assessment by dual X-ray absorptiometry: a valid tool to detect vertebral fractures in community-dwelling older adults in a population-based survey. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2013;65(5):809-15.
41. Meunier PJ, Delmas PD, Eastell R, McClung MR, Papapoulos S, Rizzoli R, et al. Diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women: clinical guidelines. *International Committee for Osteoporosis Clinical Guidelines. Clin Ther*. 1999;21(6):1025-44.
42. Terakado A, Orita S, Inage K, Kubota G, Kanzaki T, Mori H, et al. A Clinical Prospective Observational Cohort Study on the Prevalence and Primary Diagnostic Accuracy of Occult Vertebral Fractures in Aged Women with Acute Lower Back Pain Using Magnetic Resonance Imaging. *Pain Res Manag*. 2017;2017:9265259.
43. Ito Z, Harada A, Matsui Y, Takemura M, Wakao N, Suzuki T, et al. Can you diagnose for vertebral fracture correctly by plain X-ray? *Osteoporos Int*. 2006;17(11):1584-91.
44. Ullrich BW, Schnake KJ, Schenk P, Katscher S, Baumlein M, Zimmermann V, et al. Clinical Evaluation of the Osteoporotic Fracture Treatment Score (OF-Score): Results of the Evaluation of the Osteoporotic Fracture Classification, Treatment Score and Therapy Recommendations (EOFTT) Study. *Global Spine J*. 2023;13(1_suppl):29S-35S.
45. Abe K, Tamaki J, Kadowaki E, Sato Y, Morita A, Komatsu M, et al. Use of anthropometric indicators in screening for undiagnosed vertebral fractures: a cross-sectional analysis of the Fukui Osteoporosis Cohort (FOC) study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008;9:157.
46. Spiegl UJ, Behr L, Osterhoff G, Rupprecht G, Scheyerer MJ, Katscher S. OF spine classification of osteoporotic thoracolumbar vertebral body fractures by MRI and conventional radiographs only leads to high inter-observer agreement rates-an additional CT adds limited information for the of classification and the OF score. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):1086.
47. Osterhoff G, Schenk P, Katscher S, Schnake KJ, Baumlein M, Zimmermann V, et al. Treatment and Outcome of Osteoporotic Thoracolumbar Vertebral Fractures With Anterior or Posterior Tension Band Failure (OF 5): Short-Term Results From the Prospective EOFTT Multicenter Study. *Global Spine J*. 2023;13(1_suppl):44S-51S.
48. Spiegl UJA, Schenk P, Schnake KJ, Ullrich BW, Osterhoff G, Scheyerer MJ, et al. Treatment and Outcome of Osteoporotic Thoracolumbar Vertebral Body Fractures With Deformation of Both Endplates With or Without Posterior Wall Involvement (OF 4): Short-Term Results from the Prospective EOFTT Multicenter Study. *Global Spine J*. 2023;13(1_suppl):36S-43S.
49. Wagner SC, Formby PM, Helgeson MD, Kang DG. Diagnosing the Undiagnosed: Osteoporosis in Patients Undergoing Lumbar Fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016;41(21):E1279-E83.
50. Shirley M, Wanderman N, Keaveny T, Anderson P, Freedman BA. Opportunistic Computed Tomography and Spine Surgery: A Narrative Review. *Global Spine J*. 2020;10(7):919-28.
51. Ullrich BW, Schenk P, Spiegl UJ, Mendel T, Hofmann GO. Hounsfield units as predictor for cage subsidence and loss of reduction: following posterior-anterior stabilization in thoracolumbar spine fractures. *Eur Spine J*. 2018;27(12):3034-42.
52. Schwaiger BJ, Gersing AS, Baum T, Noel PB, Zimmer C, Bauer JS. Bone mineral density values derived from routine lumbar spine multidetector row CT predict osteoporotic vertebral fractures and screw loosening. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2014;35(8):1628-33.
53. Schreiber JJ, Anderson PA, Rosas HG, Buchholz AL, Au AG. Hounsfield units for assessing bone mineral density and strength: a tool for osteoporosis management. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(11):1057-63.
54. Gerety EL, Hopper MA, Bearcroft PW. The reliability of measuring the density of the L1 vertebral body on CT imaging as a predictor of bone mineral density. *Clin Radiol*. 2017;72(2):177 e9-e15.
55. Pickhardt PJ, Lee LJ, del Rio AM, Lauder T, Bruce RJ, Summers RM, et al. Simultaneous screening for osteoporosis at CT colonography: bone mineral density assessment using MDCT

attenuation techniques compared with the DXA reference standard. *J Bone Miner Res.*

2011;26(9):2194-203.

56. Viswanathan VK, Shetty AP, Rai N, Sindhiya N, Subramanian S, Rajasekaran S. What is the role of CT-based Hounsfield unit assessment in the evaluation of bone mineral density in patients undergoing 1- or 2-level lumbar spinal fusion for degenerative spinal pathologies? A prospective study. *Spine J.* 2023;23(10):1427-34.

57. Zhang RJ, Li HM, Gao H, Jia CY, Xing T, Shen CL. Associations between the hounsfield unit values of different trajectories and bone mineral density of vertebrae: cortical bone and traditional trajectories. *Am J Transl Res.* 2020;12(7):3906-16.

58. Schomig F, Becker L, Schonnagel L, Volker A, Disch AC, Schnake KJ, et al. Avoiding Spinal Implant Failures in Osteoporotic Patients: A Narrative Review. *Global Spine J.* 2023;13(1_suppl):52S-8S.

59. Rometsch E, Spruit M, Zigler JE, Menon VK, Ouellet JA, Mazel C, et al. Screw-Related Complications After Instrumentation of the Osteoporotic Spine: A Systematic Literature Review With Meta-Analysis. *Global Spine J.* 2020;10(1):69-88.

60. Hadji P BK, Wüster C, Emons G, Gottschalk M, Schulz KD. Osteodensitometrie: Quo vadis? Möglichkeiten und Grenzen der modernen Osteoporosediagnostik. *Reproduktionsmedizin.* 2001;17:261-70.

61. Engelke K, Lang T, Khosla S, Qin L, Zysset P, Leslie WD, et al. Clinical Use of Quantitative Computed Tomography-Based Advanced Techniques in the Management of Osteoporosis in Adults: the 2015 ISCD Official Positions-Part III. *J Clin Densitom.* 2015;18(3):393-407.

62. Engelke K, Adams JE, Armbrecht G, Augat P, Bogado CE, Bouxsein ML, et al. Clinical use of quantitative computed tomography and peripheral quantitative computed tomography in the management of osteoporosis in adults: the 2007 ISCD Official Positions. *J Clin Densitom.* 2008;11(1):123-62.

63. Johannesdottir F, Allaire, B., & Bouxsein, M. L. Fracture prediction by computed tomography and finite element analysis: current and future perspectives. *Current osteoporosis reports.* 2018;16:411-22.

64. Pham T, Azulay-Parrado J, Champsaur P, Chagnaud C, Legre V, Lafforgue P. "Occult" osteoporotic vertebral fractures: vertebral body fractures without radiologic collapse. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(21):2430-5.

65. Leonhardt Y, Gassert FT, Feuerriegel G, Gassert FG, Kronthaler S, Boehm C, et al. Vertebral bone marrow T2* mapping using chemical shift encoding-based water-fat separation in the quantitative analysis of lumbar osteoporosis and osteoporotic fractures. *Quant Imaging Med Surg.* 2021;11(8):3715-25.

66. Zhao Y, Zhao T, Chen S, Zhang X, Serrano Sosa M, Liu J, et al. Fully automated radiomic screening pipeline for osteoporosis and abnormal bone density with a deep learning-based segmentation using a short lumbar mDixon sequence. *Quant Imaging Med Surg.* 2022;12(2):1198-213.

67. Sollmann N, Becherucci EA, Boehm C, Hussein ME, Ruschke S, Burian E, et al. Texture Analysis Using CT and Chemical Shift Encoding-Based Water-Fat MRI Can Improve Differentiation Between Patients With and Without Osteoporotic Vertebral Fractures. *Front Endocrinol (Lausanne).* 2021;12:778537.

68. Sollmann N, Kirschke JS, Kronthaler S, Boehm C, Dieckmeyer M, Vogele D, et al. Imaging of the Osteoporotic Spine - Quantitative Approaches in Diagnostics and for the Prediction of the Individual Fracture Risk. *Rofo.* 2022;194(10):1088-99.

69. Tome-Bermejo F, Pinera AR, Alvarez L. Osteoporosis and the Management of Spinal Degenerative Disease (II). *Arch Bone Jt Surg.* 2017;5(6):363-74.

70. Rotzinger R, Omid R, Gebhard H, Shariat K, Ahlhelm F. [Spondylodiscitis and epidural abscesses]. *Radiologe.* 2021;61(3):275-82.

71. Spiegl U, Bork H, Gruninger S, Maus U, Osterhoff G, Scheyerer MJ, et al. Osteoporotic Fractures of the Thoracic and Lumbar Vertebrae: Diagnosis and Conservative Treatment. *Dtsch Arztebl Int.* 2021;118(40):670-7.
72. Abe T, Shibao Y, Takeuchi Y, Mataka Y, Amano K, Hioki S, et al. Initial hospitalization with rigorous bed rest followed by bracing and rehabilitation as an option of conservative treatment for osteoporotic vertebral fractures in elderly patients: a pilot one arm safety and feasibility study. *Arch Osteoporos.* 2018;13(1):134.
73. Cho ST, Kim SJ, Nam BJ, Kim KW, Lee GH, Kim JH. Absolute Bed Rest Duration of 3 Days for Osteoporotic Vertebral Fractures: A Retrospective Study. *Asian Spine J.* 2022;16(6):898-905.
74. Funayama T, Tatsumura M, Fujii K, Ikumi A, Okuwaki S, Shibao Y, et al. Therapeutic Effects of Conservative Treatment with 2-Week Bed Rest for Osteoporotic Vertebral Fractures: A Prospective Cohort Study. *J Bone Joint Surg Am.* 2022;104(20):1785-95.
75. Starrost K LM. Folge von Bettruhe und Immobilisation. *Neuroreha.* 2015;7:105-10.
76. Kortebein P, Ferrando A, Lombeida J, Wolfe R, Evans WJ. Effect of 10 days of bed rest on skeletal muscle in healthy older adults. *JAMA.* 2007;297(16):1772-4.
77. DGPPN DeV. S3-Leitlinie Demenz, Version 8.11.2023.
78. Ventafridda V, Saita L, Ripamonti C, De Conno F. WHO guidelines for the use of analgesics in cancer pain. *Int J Tissue React.* 1985;7(1):93-6.
79. Ramacciotti AS, Soares BG, Atallah AN. Dipyrrone for acute primary headaches. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007(2):CD004842.
80. Hedenmalm K, Spigset O. Agranulocytosis and other blood dyscrasias associated with dipyrrone (metamizole). *Eur J Clin Pharmacol.* 2002;58(4):265-74.
81. Armingeat T, Brondino R, Pham T, Legre V, Lafforgue P. Intravenous pamidronate for pain relief in recent osteoporotic vertebral compression fracture: a randomized double-blind controlled study. *Osteoporos Int.* 2006;17(11):1659-65.
82. Nevitt MC, Chen P, Kiel DP, Reginster JY, Dore RK, Zanchetta JR, et al. Reduction in the risk of developing back pain persists at least 30 months after discontinuation of teriparatide treatment: a meta-analysis. *Osteoporos Int.* 2006;17(11):1630-7.
83. Papadokostakis G, Katonis P, Damilakis J, Hadjipavlou A. Does raloxifene treatment influence back pain and disability among postmenopausal women with osteoporosis? *Eur Spine J.* 2005;14(10):977-81.
84. Ohtori S, Yamashita M, Inoue G, Yamauchi K, Suzuki M, Orita S, et al. L2 spinal nerve-block effects on acute low back pain from osteoporotic vertebral fracture. *J Pain.* 2009;10(8):870-5.
85. Chen Z, Song C, Chen J, Sun J, Liu W. Can facet joint block be a complementary or alternative therapeutic option for patients with osteoporotic vertebral fractures: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):40.
86. Leslie WD, Giangregorio LM, Yogendran M, Azimae M, Morin S, Metge C, et al. A population-based analysis of the post-fracture care gap 1996-2008: the situation is not improving. *Osteoporos Int.* 2012;23(5):1623-9.
87. Majumdar SR, McAlister FA, Johnson JA, Weir DL, Bellerose D, Hanley DA, et al. Critical impact of patient knowledge and bone density testing on starting osteoporosis treatment after fragility fracture: secondary analyses from two controlled trials. *Osteoporos Int.* 2014;25(9):2173-9.
88. Hoffmann I, Shojaa M, Kohl M, von Stengel S, Becker C, Gosch M, et al. Exercise Reduces the Number of Overall and Major Osteoporotic Fractures in Adults. Does Supervision Make a Difference? Systematic Review and Meta-Analysis. *J Bone Miner Res.* 2022;37(11):2132-48.
89. Handoll HH, Cameron ID, Mak JC, Panagoda CE, Finnegan TP. Multidisciplinary rehabilitation for older people with hip fractures. *Cochrane Database Syst Rev.* 2021;11(11):CD007125.
90. Bachmann S, Finger C, Huss A, Egger M, Stuck AE, Clough-Gorr KM. Inpatient rehabilitation specifically designed for geriatric patients: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ.* 2010;340:c1718.
91. Online NCS. Osteoporosis Prevention D, and Therapy. 2000.

92. Kemmler W. Osteoporose und Fraktur. Evidenzbasierte Empfehlungen für die Trainingstherapie. Update und Repetitorium. Bewegungstherapie und Gesundheitssport 2014;30:215-9.
93. Hoffmann I, Kohl M, von Stengel S, Jakob F, Kersch-Schindl K, Lange U, et al. Exercise and the prevention of major osteoporotic fractures in adults: a systematic review and meta-analysis with special emphasis on intensity progression and study duration. Osteoporos Int. 2023;34(1):15-28.
94. Pinto D, Alshahrani M, Chapurlat R, Chevalley T, Dennison E, Camargos BM, et al. The global approach to rehabilitation following an osteoporotic fragility fracture: A review of the rehabilitation working group of the International Osteoporosis Foundation (IOF) committee of scientific advisors. Osteoporos Int. 2022;33(3):527-40.
95. Shojaa M, von Stengel S, Kohl M, Schoene D, Kemmler W. Effects of dynamic resistance exercise on bone mineral density in postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis with special emphasis on exercise parameters. Osteoporos Int. 2020;31(8):1427-44.
96. Barker KL, Newman M, Stallard N, Leal J, Lowe CM, Javaid MK, et al. Physiotherapy rehabilitation for osteoporotic vertebral fracture-a randomised controlled trial and economic evaluation (PROVE trial). Osteoporos Int. 2020;31(2):277-89.
97. Weerink LB, Folbert EC, Kraai M, Smit RS, Hegeman JH, van der Velde D. Thoracolumbar spine fractures in the geriatric fracture center: early ambulation leads to good results on short term and is a successful and safe alternative compared to immobilization in elderly patients with two-column vertebral fractures. Geriatr Orthop Surg Rehabil. 2014;5(2):43-9.
98. Stanghelle B, Bentzen H, Giangregorio L, Pripp AH, Skelton DA, Bergland A. Effects of a resistance and balance exercise programme on physical fitness, health-related quality of life and fear of falling in older women with osteoporosis and vertebral fracture: a randomized controlled trial. Osteoporos Int. 2020;31(6):1069-78.
99. Evstigneeva L, Lesnyak O, Bultink IE, Lems WF, Kozhemyakina E, Negodaeva E, et al. Effect of twelve-month physical exercise program on patients with osteoporotic vertebral fractures: a randomized, controlled trial. Osteoporos Int. 2016;27(8):2515-24.
100. DGOU. S2k-Leitlinie Rehabilitation nach traumatischen Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne neurologische Ausfälle.
101. Kato T, Inose H, Ichimura S, Tokuhashi Y, Nakamura H, Hoshino M, et al. Comparison of Rigid and Soft-Brace Treatments for Acute Osteoporotic Vertebral Compression Fracture: A Prospective, Randomized, Multicenter Study. J Clin Med. 2019;8(2).
102. Hoshino M, Tsujio T, Terai H, Namikawa T, Kato M, Matsumura A, et al. Impact of initial conservative treatment interventions on the outcomes of patients with osteoporotic vertebral fractures. Spine (Phila Pa 1976). 2013;38(11):E641-8.
103. Li M, Law SW, Cheng J, Kee HM, Wong MS. A comparison study on the efficacy of SpinoMed(R) and soft lumbar orthosis for osteoporotic vertebral fracture. Prosthet Orthot Int. 2015;39(4):270-6.
104. Pfeifer M, Begerow B, Minne HW. Effects of a new spinal orthosis on posture, trunk strength, and quality of life in women with postmenopausal osteoporosis: a randomized trial. Am J Phys Med Rehabil. 2004;83(3):177-86.
105. Dionyssiotis Y, Trovas G, Thoma S, Lyritis G, Papaioannou N. Prospective study of spinal orthoses in women. Prosthet Orthot Int. 2015;39(6):487-95.
106. Meccariello L, Muzii VF, Falzarano G, Medici A, Carta S, Fortina M, et al. Dynamic corset versus three-point brace in the treatment of osteoporotic compression fractures of the thoracic and lumbar spine: a prospective, comparative study. Aging Clin Exp Res. 2017;29(3):443-9.
107. Kim HJ, Yi JM, Cho HG, Chang BS, Lee CK, Kim JH, et al. Comparative study of the treatment outcomes of osteoporotic compression fractures without neurologic injury using a rigid brace, a soft brace, and no brace: a prospective randomized controlled non-inferiority trial. J Bone Joint Surg Am. 2014;96(23):1959-66.

108. Peckett KH, Ponzano M, Steinke A, Giangregorio LM. Bracing and taping interventions for individuals with vertebral fragility fractures: a systematic review of randomized controlled trials with GRADE assessment. *Arch Osteoporos.* 2023;18(1):36.
109. Pieroh P, Spiegl UJA, Volker A, Mardian S, von der Hoh NH, Osterhoff G, et al. Spinal Orthoses in the Treatment of Osteoporotic Thoracolumbar Vertebral Fractures in the Elderly: A Systematic Review With Quantitative Quality Assessment. *Global Spine J.* 2023;13(1_suppl):59S-72S.
110. Lee HM, Park SY, Lee SH, Suh SW, Hong JY. Comparative analysis of clinical outcomes in patients with osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs): conservative treatment versus balloon kyphoplasty. *Spine J.* 2012;12(11):998-1005.
111. Zhang J, He X, Fan Y, Du J, Hao D. Risk factors for conservative treatment failure in acute osteoporotic vertebral compression fractures (OVCFs). *Arch Osteoporos.* 2019;14(1):24.
112. Shah S, Goregaonkar AB. Conservative Management of Osteoporotic Vertebral Fractures: A Prospective Study of Thirty Patients. *Cureus.* 2016;8(3):e542.
113. Goldstein S, Smorgick Y, Mirovsky Y, Anekstein Y, Blecher R, Tal S. Clinical and radiological factors affecting progressive collapse of acute osteoporotic compression spinal fractures. *J Clin Neurosci.* 2016;31:122-6.
114. Park HY, Ahn JH, Ha KY, Kim YH, Kim SI, Min HK, et al. Clinical and Radiologic Features of Osteoporotic Spine Fracture with Delayed Neurologic Compromises. *World Neurosurg.* 2018;120:e1295-e300.
115. Hayashi T, Maeda T, Masuda M, Ueta T, Shiba K. Morphology of the injured posterior wall causing spinal canal encroachment in osteoporotic vertebral fractures. *Spine J.* 2016;16(8):946-50.
116. Tsujio T, Nakamura H, Terai H, Hoshino M, Namikawa T, Matsumura A, et al. Characteristic radiographic or magnetic resonance images of fresh osteoporotic vertebral fractures predicting potential risk for nonunion: a prospective multicenter study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2011;36(15):1229-35.
117. Ito Y, Hasegawa Y, Toda K, Nakahara S. Pathogenesis and diagnosis of delayed vertebral collapse resulting from osteoporotic spinal fracture. *Spine J.* 2002;2(2):101-6.
118. Seo JY, Kwon YS, Kim KJ, Shin JY, Kim YH, Ha KY. Clinical importance of posterior vertebral height loss on plain radiography when conservatively treating osteoporotic vertebral fractures. *Injury.* 2017;48(7):1503-9.
119. Patil S, Nene AM. Predictors of kyphotic deformity in osteoporotic vertebral compression fractures: a radiological study. *Eur Spine J.* 2014;23(12):2737-42.
120. Ha KY, Kim YH. Risk factors affecting progressive collapse of acute osteoporotic spinal fractures. *Osteoporos Int.* 2013;24(4):1207-13.
121. Nakamae T, Fujimoto Y, Yamada K, Hiramatsu T, Hashimoto T, Olmarker K, et al. Relationship between clinical symptoms of osteoporotic vertebral fracture with intravertebral cleft and radiographic findings. *J Orthop Sci.* 2017;22(2):201-6.
122. Cho JH, Shin SI, Lee JH, Yeom JS, Chang BS, Lee CK. Usefulness of prone cross-table lateral radiographs in vertebral compression fractures. *Clin Orthop Surg.* 2013;5(3):195-201.
123. Wakao N, Takeuchi M, Riew DK, Hirasawa A, Imagama S, Kawanami K, et al. Effect of an intensive conservative therapy with daily teriparatide administration and rehabilitation for osteoporotic delayed vertebral collapse and paralysis. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(23):e10906.
124. Smorgick Y, Geftler A, Goldstein S, Mirovsky Y, Blecher R, Anekstein Y. Determination of Any Correlation between Sagittal Spinopelvic Configuration and Progressive Collapse of Acute Osteoporotic Compression Spine Fractures: A Retrospective Radiological Analysis. *Asian Spine J.* 2020;14(6):872-7.
125. Ohnishi T, Iwata A, Kanayama M, Oha F, Hashimoto T, Iwasaki N. Impact of spino-pelvic and global spinal alignment on the risk of osteoporotic vertebral collapse. *Spine Surg Relat Res.* 2018;2(1):72-6.
126. Kao FC, Huang YJ, Chiu PY, Hsieh MK, Tsai TT. Factors Predicting the Surgical Risk of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *J Clin Med.* 2019;8(4).

127. Kanchiku T, Imajo Y, Suzuki H, Yoshida Y, Taguchi T. Usefulness of an early MRI-based classification system for predicting vertebral collapse and pseudoarthrosis after osteoporotic vertebral fractures. *J Spinal Disord Tech.* 2014;27(2):E61-5.
128. Kataoka H, Ikemoto T, Yoshimura A, Shibuya M, Goto K, Yamashita J, et al. Association of early physical activity time with pain, activities of daily living, and progression of vertebral body collapse in patients with vertebral compression fractures. *Eur J Phys Rehabil Med.* 2017;53(3):366-76.
129. Ha KY, Park KS, Kim SI, Kim YH. Does bisphosphonate-based anti-osteoporosis medication affect osteoporotic spinal fracture healing? *Osteoporos Int.* 2016;27(2):483-8.
130. Fujimoto K, Kanchiku T, Imajo Y, Suzuki H, Nishida N, Funaba M, et al. Reduction of vertebral height with fragility vertebral fractures can induce variety of neurological deterioration. *J Orthop Surg Res.* 2017;12(1):145.
131. Halvachizadeh S, Stalder AL, Bellut D, Hoppe S, Rossbach P, Cianfoni A, et al. Systematic Review and Meta-Analysis of 3 Treatment Arms for Vertebral Compression Fractures: A Comparison of Improvement in Pain, Adjacent-Level Fractures, and Quality of Life Between Vertebroplasty, Kyphoplasty, and Nonoperative Management. *JBJS Rev.* 2021;9(10).
132. Lainez Ramos-Bossini AJ, Lopez Zuniga D, Ruiz Santiago F. Percutaneous vertebroplasty versus conservative treatment and placebo in osteoporotic vertebral fractures: meta-analysis and critical review of the literature. *Eur Radiol.* 2021;31(11):8542-53.
133. Diamond T, Clark W, Bird P, Gonski P, Barnes E, Gebiski V. Early vertebroplasty within 3 weeks of fracture for acute painful vertebral osteoporotic fractures: subgroup analysis of the VAPOUR trial and review of the literature. *Eur Spine J.* 2020;29(7):1606-13.
134. Blattert TR, Schnake KJ, Gonschorek O, Gercek E, Hartmann F, Katscher S, et al. Nonsurgical and Surgical Management of Osteoporotic Vertebral Body Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine J.* 2018;8(2 Suppl):50S-55.
135. Lin T, Lu J, Zhang Y, Wang Z, Chen G, Gu Y, et al. Does spinal sagittal imbalance lead to future vertebral compression fractures in osteoporosis patients? *Spine J.* 2021;21(8):1362-75.
136. Cavanilles-Walker JM, Rodriguez Montserrat D, Plano Jerez X, Iborra Gonzalez M, Ubierna Garces MT, Rios Guillermo J, et al. Sagittal imbalance influences outcome of vertebroplasty in patients with osteoporotic vertebral compression fracture. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2022;66(5):348-54.
137. Chau LTC, Hu Z, Ko KSY, Man GCW, Yeung KH, Law YY, et al. Global sagittal alignment of the spine, pelvis, lower limb after vertebral compression fracture and its effect on quality of life. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):476.
138. Werner CM, Osterhoff G, Schlickeiser J, Jenni R, Wanner GA, Ossendorf C, et al. Vertebral body stenting versus kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures: a randomized trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(7):577-84.
139. Finoco M, Dejean C, Giber D, Bastard C, Ferrero E, Dubory A, et al. Sagittal correction after short percutaneous fixation for thoracolumbar compression fractures: comparison of the combination of SpineJack(R) kyphoplasty and fractured vertebra screw fixation. *Int Orthop.* 2023;47(5):1295-302.
140. Kreinest M, Rillig J, Grutzner PA, Kuffer M, Tinelli M, Matschke S. Analysis of complications and perioperative data after open or percutaneous dorsal instrumentation following traumatic spinal fracture of the thoracic and lumbar spine: a retrospective cohort study including 491 patients. *Eur Spine J.* 2017;26(5):1535-40.
141. Rillig J, Keil H, Jung M, Grutzner PA, Matschke S, Kreinest M. Reduction in Traumatic Spine Injuries in the Thoracic and Lumbar Spine With Percutaneous Versus Open Dorsal Stabilization. *Clin Spine Surg.* 2020;33(6):E288-E93.
142. Tian F, Tu LY, Gu WF, Zhang EF, Wang ZB, Chu G, et al. Percutaneous versus open pedicle screw instrumentation in treatment of thoracic and lumbar spine fractures: A systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(41):e12535.

143. Fehlings MG, Tetreault LA, Wilson JR, Kwon BK, Burns AS, Martin AR, et al. A Clinical Practice Guideline for the Management of Acute Spinal Cord Injury: Introduction, Rationale, and Scope. *Global Spine J.* 2017;7(3 Suppl):84S-94S.
144. Ahuja CS, Wilson JR, Nori S, Kotter MRN, Druschel C, Curt A, et al. Traumatic spinal cord injury. *Nat Rev Dis Primers.* 2017;3:17018.
145. Seah SJ, Yeo MH, Tan JH, Hey HWD. Early cement augmentation may be a good treatment option for pain relief for osteoporotic compression fractures: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J.* 2023;32(5):1751-62.
146. Demir U, Taskin O. Retrospective Comparison of Anesthetic Methods for Percutaneous Balloon Kyphoplasty Surgery: General Anesthesia and Erector Spinae Plane Block. *Medicina (Kaunas).* 2023;59(2).
147. Zhong X, Xia H, Li Y, Tang C, Tang X, He S. Effectiveness and safety of ultrasound-guided thoracic paravertebral block versus local anesthesia for percutaneous kyphoplasty in patients with osteoporotic compression fracture. *J Back Musculoskelet Rehabil.* 2022;35(6):1227-35.
148. Zhang S, Xu S, Yang J, Wang S, Wang Q. Analysis of percutaneous kyphoplasty under different types of anesthesia for the treatment of multiple osteoporotic vertebral fractures. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):743.
149. Teuber H, Tiziani S, Halvachizadeh S, Frey D, Sprengel K, Pape HC, et al. Single-level vertebral kyphoplasty is not associated with an increased risk of symptomatic secondary adjacent osteoporotic vertebral compression fractures: a matched case-control analysis. *Arch Osteoporos.* 2018;13(1):82.
150. Deibert CP, Gandhoke GS, Paschel EE, Gerszten PC. A Longitudinal Cohort Investigation of the Development of Symptomatic Adjacent Level Compression Fractures Following Balloon-assisted Kyphoplasty in a Series of 726 Patients. *Pain Physician.* 2016;19(8):E1167-E72.
151. Tao W, Biao W, Xingmei C, Hu Q, Jinpeng S, Yue G, et al. Predictive Factors for Adjacent Vertebral Fractures After Percutaneous Kyphoplasty in Patients With Osteoporotic Vertebral Compression Fracture. *Pain Physician.* 2022;25(5):E725-E32.
152. Klazen CA, Lohle PN, de Vries J, Jansen FH, Tielbeek AV, Blonk MC, et al. Vertebroplasty versus conservative treatment in acute osteoporotic vertebral compression fractures (Vertos II): an open-label randomised trial. *Lancet.* 2010;376(9746):1085-92.
153. Venmans A, Klazen CA, Lohle PN, van Rooij WJ, Verhaar HJ, de Vries J, et al. Percutaneous vertebroplasty and pulmonary cement embolism: results from VERTOS II. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2010;31(8):1451-3.
154. Nieuwenhuijse MJ, van Erkel AR, Dijkstra PD. Percutaneous vertebroplasty for subacute and chronic painful osteoporotic vertebral compression fractures can safely be undertaken in the first year after the onset of symptoms. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(6):815-20.
155. Yang EZ, Xu JG, Huang GZ, Xiao WZ, Liu XK, Zeng BF, et al. Percutaneous Vertebroplasty Versus Conservative Treatment in Aged Patients With Acute Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: A Prospective Randomized Controlled Clinical Study. *Spine (Phila Pa 1976).* 2016;41(8):653-60.
156. Li L, Ren J, Liu J, Wang H, Wang X, Liu Z, et al. Results of Vertebral Augmentation Treatment for Patients of Painful Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: A Meta-Analysis of Eight Randomized Controlled Trials. *PLoS One.* 2015;10(9):e0138126.
157. Firanesco CE, de Vries J, Lodder P, Venmans A, Schoemaker MC, Smeets AJ, et al. Vertebroplasty versus sham procedure for painful acute osteoporotic vertebral compression fractures (VERTOS IV): randomised sham controlled clinical trial. *BMJ.* 2018;361:k1551.
158. Buchbinder R, Osborne RH, Ebeling PR, Wark JD, Mitchell P, Wriedt C, et al. A randomized trial of vertebroplasty for painful osteoporotic vertebral fractures. *N Engl J Med.* 2009;361(6):557-68.
159. Kallmes DF, Comstock BA, Heagerty PJ, Turner JA, Wilson DJ, Diamond TH, et al. A randomized trial of vertebroplasty for osteoporotic spinal fractures. *N Engl J Med.* 2009;361(6):569-79.

160. Wardlaw D, Cummings SR, Van Meirhaeghe J, Bastian L, Tillman JB, Ranstam J, et al. Efficacy and safety of balloon kyphoplasty compared with non-surgical care for vertebral compression fracture (FREE): a randomised controlled trial. *Lancet*. 2009;373(9668):1016-24.
161. Lieberman IH, Dudeney S, Reinhardt MK, Bell G. Initial outcome and efficacy of "kyphoplasty" in the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(14):1631-8.
162. Belkoff SM, Mathis JM, Fenton DC, Scribner RM, Reiley ME, Talmadge K. An ex vivo biomechanical evaluation of an inflatable bone tamp used in the treatment of compression fracture. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(2):151-6.
163. Li X, Yang H, Tang T, Qian Z, Chen L, Zhang Z. Comparison of kyphoplasty and vertebroplasty for treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures: twelve-month follow-up in a prospective nonrandomized comparative study. *J Spinal Disord Tech*. 2012;25(3):142-9.
164. Ehteshami Rad A, Luetmer MT, Murad MH, Kallmes DF. The association between the duration of preoperative pain and pain improvement in vertebral augmentation: a meta-analysis. *AJNR Am J Neuroradiol*. 2012;33(2):376-81.
165. Minamide A, Maeda T, Yamada H, Murakami K, Okada M, Enyo Y, et al. Early versus delayed kyphoplasty for thoracolumbar osteoporotic vertebral fractures: The effect of timing on clinical and radiographic outcomes and subsequent compression fractures. *Clin Neurol Neurosurg*. 2018;173:176-81.
166. Liu D, Xu J, Wang Q, Zhang L, Yin S, Qian B, et al. Timing of Percutaneous Balloon Kyphoplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Pain Physician*. 2023;26(3):231-43.
167. He B, Zhao J, Zhang M, Jiang G, Tang K, Quan Z. Effect of Surgical Timing on the Refracture Rate after Percutaneous Vertebroplasty: A Retrospective Analysis of at Least 4-Year Follow-Up. *Biomed Res Int*. 2021;2021:5503022.
168. Lin D, Hao J, Li L, Wang L, Zhang H, Zou W, et al. Effect of Bone Cement Volume Fraction on Adjacent Vertebral Fractures After Unilateral Percutaneous Kyphoplasty. *Clin Spine Surg*. 2017;30(3):E270-E5.
169. Feltz C, Fountas KN, Machinis T, Nikolakakos LG, Dimopoulos V, Davydov R, et al. Immediate and early postoperative pain relief after kyphoplasty without significant restoration of vertebral body height in acute osteoporotic vertebral fractures. *Neurosurg Focus*. 2005;18(3):e5.
170. Rotter R, Martin H, Fuerderer S, Gabl M, Roeder C, Heini P, et al. Vertebral body stenting: a new method for vertebral augmentation versus kyphoplasty. *Eur Spine J*. 2010;19(6):916-23.
171. Spiegel UJ, Anemuller C, Jarvers JS, von der Hoh N, Josten C, Heyde CE. Hybrid stabilization of unstable osteoporotic thoracolumbar vertebral body fractures: clinical and radiological outcome after a mean of 4 years. *Eur Spine J*. 2019;28(5):1130-7.
172. Spiegel UJ, Devitt BM, Kasivskiy I, Jarvers JS, Josten C, Heyde CE, et al. Comparison of combined posterior and anterior spondylodesis versus hybrid stabilization in unstable burst fractures at the thoracolumbar spine in patients between 60 and 70 years of age. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(10):1407-14.
173. Spiegel UJ, Jarvers JS, Osterhoff G, Kobbe P, Holbing PL, Schnake KJ, et al. Effect of subsequent vertebral body fractures on the outcome after posterior stabilization of unstable geriatric fractures of the thoracolumbar spine. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):1064.
174. Dreimann M, Hempfing A, Stangenberg M, Viezens L, Weiser L, Czorlich P, et al. Posterior vertebral column resection with 360-degree osteosynthesis in osteoporotic kyphotic deformity and spinal cord compression. *Neurosurg Rev*. 2018;41(1):221-8.
175. Schwendner M, Motov S, Ryang YM, Meyer B, Krieg SM. Dorsal instrumentation with and without vertebral body replacement in patients with thoracolumbar osteoporotic fractures shows comparable outcome measures. *Eur Spine J*. 2022;31(5):1138-46.
176. Ullrich BW, Schenk P, Scheyerer MJ, Baumlein M, Katscher S, Schnake KJ, et al. Georg Schmorl prize of the German spine society (DWG) 2022: current treatment for inpatients with osteoporotic thoracolumbar fractures-results of the EOFTT study. *Eur Spine J*. 2023;32(5):1525-35.

177. Chang AE, Sugarbaker PH. Assessment of T cell function with a skin allograft assay. Transplantation. 1980;29(5):381-7.
178. Gu YT, Zhu DH, Liu HF, Zhang F, McGuire R. Minimally invasive pedicle screw fixation combined with percutaneous vertebroplasty for preventing secondary fracture after vertebroplasty. J Orthop Surg Res. 2015;10:31.
179. Belkoff SM, Jasper LE, Stevens SS. An ex vivo evaluation of an inflatable bone tamp used to reduce fractures within vertebral bodies under load. Spine (Phila Pa 1976). 2002;27(15):1640-3.
180. Meyblum L, Premat K, Elhorany M, Shotar E, Cormier E, Degos V, et al. Safety of vertebral augmentation with cranio-caudal expansion implants in vertebral compression fractures with posterior wall protrusion. Eur Radiol. 2020;30(10):5641-9.
181. Lin JH, Wang SH, Lin EY, Chiang YH. Better Height Restoration, Greater Kyphosis Correction, and Fewer Refractures of Cemented Vertebrae by Using an Intravertebral Reduction Device: a 1-Year Follow-up Study. World Neurosurg. 2016;90:391-6.
182. Noriega D, Marcia S, Theumann N, Blondel B, Simon A, Hassel F, et al. A prospective, international, randomized, noninferiority study comparing an implantable titanium vertebral augmentation device versus balloon kyphoplasty in the reduction of vertebral compression fractures (SAKOS study). Spine J. 2019;19(11):1782-95.
183. Noriega D, Maestretti G, Renaud C, Francaviglia N, Ould-Slimane M, Queinnec S, et al. Clinical Performance and Safety of 108 SpineJack Implantations: 1-Year Results of a Prospective Multicentre Single-Arm Registry Study. Biomed Res Int. 2015;2015:173872.
184. Renaud C. Treatment of vertebral compression fractures with the cranio-caudal expandable implant SpineJack(R): Technical note and outcomes in 77 consecutive patients. Orthop Traumatol Surg Res. 2015;101(7):857-9.
185. Premat K, Vande Perre S, Cormier E, Shotar E, Degos V, Morardet L, et al. Vertebral augmentation with the SpineJack(R) in chronic vertebral compression fractures with major kyphosis. Eur Radiol. 2018;28(12):4985-91.
186. Kruger A, Baroud G, Noriega D, Figiel J, Dorschel C, Ruchholtz S, et al. Height restoration and maintenance after treating unstable osteoporotic vertebral compression fractures by cement augmentation is dependent on the cement volume used. Clin Biomech (Bristol, Avon). 2013;28(7):725-30.
187. Kruger A, Oberkircher L, Figiel J, Flossdorf F, Bolzinger F, Noriega DC, et al. Height restoration of osteoporotic vertebral compression fractures using different intravertebral reduction devices: a cadaveric study. Spine J. 2015;15(5):1092-8.
188. Korovessis P, Vardakastanis K, Repantis T, Vitsas V. Balloon kyphoplasty versus KIVA vertebral augmentation--comparison of 2 techniques for osteoporotic vertebral body fractures: a prospective randomized study. Spine (Phila Pa 1976). 2013;38(4):292-9.
189. Tutton SM, Pflugmacher R, Davidian M, Beall DP, Facchini FR, Garfin SR. KAST Study: The Kiva System As a Vertebral Augmentation Treatment-A Safety and Effectiveness Trial: A Randomized, Noninferiority Trial Comparing the Kiva System With Balloon Kyphoplasty in Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. Spine (Phila Pa 1976). 2015;40(12):865-75.
190. Furderer 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]. Orthopade. 2002;31(4):356-61.
191. Disch AC, Schmoelz W. Cement augmentation in a thoracolumbar fracture model: reduction and stability after balloon kyphoplasty versus vertebral body stenting. Spine (Phila Pa 1976). 2014;39(19):E1147-53.
192. Wang D, Zheng S, Liu A, Xu J, Du X, Wang Y, et al. The Role of Minimally Invasive Vertebral Body Stent on Reduction of the Deflation Effect After Kyphoplasty: A Biomechanical Study. Spine (Phila Pa 1976). 2018;43(6):E341-E7.

193. Diel P, Roder C, Perler G, Vordemvenne T, Scholz M, Kandziora F, et al. Radiographic and safety details of vertebral body stenting: results from a multicenter chart review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2013;14:233.
194. Klezl Z, Majeed H, Bommireddy R, John J. Early results after vertebral body stenting for fractures of the anterior column of the thoracolumbar spine. *Injury.* 2011;42(10):1038-42.
195. Muto M, Greco B, Setola F, Vassallo P, Ambrosanio G, Guarnieri G. Vertebral Body Stenting System for the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fracture: Follow-up at 12 Months in 20 Cases. *Neuroradiol J.* 2011;24(4):610-9.
196. Cianfoni A, Delfanti RL, Isalberti M, Scarone P, Koetsier E, Bonaldi G, et al. Minimally Invasive Stent Screw-Assisted Internal Fixation Technique Corrects Kyphosis in Osteoporotic Vertebral Fractures with Severe Collapse: A Pilot "Vertebra Plana" Series. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2022;43(5):776-83.
197. Ender SA, Eschler A, Ender M, Merk HR, Kayser R. Fracture care using percutaneously applied titanium mesh cages (OsseoFix(R)) for unstable osteoporotic thoracolumbar burst fractures is able to reduce cement-associated complications--results after 12 months. *J Orthop Surg Res.* 2015;10:175.
198. Ender SA, Gradl G, Ender M, Langner S, Merk HR, Kayser R. Osseofix(R) system for percutaneous stabilization of osteoporotic and tumorous vertebral compression fractures - clinical and radiological results after 12 months. *Rofo.* 2014;186(4):380-7.
199. Eschler A, Ender SA, Ulmar B, Herlyn P, Mittlmeier T, Gradl G. Cementless fixation of osteoporotic VCFs using titanium mesh implants (OsseoFix): preliminary results. *Biomed Res Int.* 2014;2014:853897.
200. Eschler A, Roepenack P, Roesner J, Herlyn PK, Martin H, Reichel M, et al. Cementless Titanium Mesh Fixation of Osteoporotic Burst Fractures of the Lumbar Spine Leads to Bony Healing: Results of an Experimental Sheep Model. *Biomed Res Int.* 2016;2016:4094161.
201. Ghofrani H, Nunn T, Robertson C, Mahar A, Lee Y, Garfin S. An evaluation of fracture stabilization comparing kyphoplasty and titanium mesh repair techniques for vertebral compression fractures: is bone cement necessary? *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35(16):E768-73.
202. Flors L, Lonjedo E, Leiva-Salinas C, Marti-Bonmati L, Martinez-Rodrigo JJ, Lopez-Perez E, et al. Vesselplasty: a new technical approach to treat symptomatic vertebral compression fractures. *AJR Am J Roentgenol.* 2009;193(1):218-26.
203. Piao M, Darwono AB, Zhu K, Zhao K. Extrapendicular Approach of Unilateral Percutaneous Vesselplasty for the Treatment of Kummell Disease. *Int J Spine Surg.* 2019;13(2):199-204.
204. Yeh KL, Wu SH, Wu SS, Chang SH. Rare Episode of Cement Leakage During Vesselplasty in a Case of Vertebral Compression Fracture. *World Neurosurg.* 2020;137:416-20.
205. An N, Guo S, Lin J, Zhuang H, Meng H, Su N, et al. Continuous cement leakage along the posterior longitudinal ligament of the intraspinal epidural during a percutaneous vesselplasty: A case report and literature review. *Front Surg.* 2022;9:1087591.
206. Anselmetti GC, Manca A, Marcia S, Chiara G, Marini S, Baroud G, et al. Vertebral augmentation with nitinol endoprosthesis: clinical experience in 40 patients with 1-year follow-up. *Cardiovasc Intervent Radiol.* 2014;37(1):193-202.
207. Yuewan S, Dongmei W, Wei W, Jingchuan S, Anmin L, Jiangang S. Sensitivity analysis of biomechanical effect in vertebral body of two different augmenters. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2020;80:105166.
208. Sun J, Kong Q, Yang Y, Shi J, Hou Y, Xu X, et al. Nonfusion Intracorporeal Enhancement System for the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures-Preliminary Clinical Result of a Novel Technique. *World Neurosurg.* 2018;117:e387-e95.
209. Li A, Li KC, Hsieh CH. Transpedicle body augmenters for vertebral augmentation in symptomatic multiple osteoporotic compression fractures. *Indian J Orthop.* 2010;44(2):191-7.
210. Ortiz AO. Use and evaluation of a semi-permeable mesh implant in vertebral augmentation for the treatment of painful osteoporotic vertebral compression fractures. *J Neurointerv Surg.* 2016;8(3):328-32.

211. Aebi M, Maas C, Di Pauli von Treuheim T, Friedrich H, Wilke HJ. Comparative biomechanical study of a new transpedicular vertebral device and vertebroplasty for the treatment or prevention of vertebral compression fractures. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2018;56:40-5.
212. Kettler A, Schmoelz W, Shezifi Y, Ohana N, Ben-Arye A, Claes L, et al. Biomechanical performance of the new BeadEx implant in the treatment of osteoporotic vertebral body compression fractures: restoration and maintenance of height and stability. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2006;21(7):676-82.
213. Bostelmann R, Keiler A, Steiger HJ, Scholz A, Cornelius JF, Schmoelz W. Effect of augmentation techniques on the failure of pedicle screws under cranio-caudal cyclic loading. *Eur Spine J*. 2017;26(1):181-8.
214. Leichtle CI, Lorenz A, Rothstock S, Happel J, Walter F, Shiozawa T, et al. Pull-out strength of cemented solid versus fenestrated pedicle screws in osteoporotic vertebrae. *Bone Joint Res*. 2016;5(9):419-26.
215. Fransen P. Increasing pedicle screw anchoring in the osteoporotic spine by cement injection through the implant. Technical note and report of three cases. *J Neurosurg Spine*. 2007;7(3):366-9.
216. Ehresman J, Pennington Z, Elsamadicy AA, Hersch A, Lubelski D, Lehner K, et al. Fenestrated pedicle screws for thoracolumbar instrumentation in patients with poor bone quality: Case series and systematic review of the literature. *Clin Neurol Neurosurg*. 2021;206:106675.
217. Girardo M, Cinnella P, Gargiulo G, Viglierchio P, Rava A, Aleotti S. Surgical treatment of osteoporotic thoraco-lumbar compressive fractures: the use of pedicle screw with augmentation PMMA. *Eur Spine J*. 2017;26(Suppl 4):546-51.
218. Ghermandi R, Pipola V, Colangeli S, Parchi P, Andreani L, Capanna R, et al. Polymethylmethacrylate-augmented fenestreted pedicle-screw fixation in low bone quality patients: a case series and literature review. *J Biol Regul Homeost Agents*. 2018;32(6 Suppl. 1):71-6.
219. Gazzeri R, Panagiotopoulos K, Galarza M, Bolognini A, Callovini G. Minimally invasive spinal fixation in an aging population with osteoporosis: clinical and radiological outcomes and safety of expandable screws versus fenestrated screws augmented with polymethylmethacrylate. *Neurosurg Focus*. 2020;49(2):E14.
220. Coniglio A, Rava A, Fusini F, Colo G, Masse A, Girardo M. Effectiveness and reliability of cannulated fenestrated screws augmented with polymethylmethacrylate cement in the surgical treatment of osteoporotic vertebral fractures. *J Craniovertebr Junction Spine*. 2021;12(1):33-7.
221. Gomez FA, Herrera OM, Gaona JLV, Reyes CAF, Gutierrez MLC, Saenz LCM. Pulmonary cement embolism following transpedicular screws placement for thoracolumbar fractures. *Surg Neurol Int*. 2021;12:495.
222. Spiegl UJ, Weidling M, Nitsch V, Heilmann R, Heilemann M, Wendler T, et al. Restricted cement augmentation in unstable geriatric midthoracic fractures treated by long-segmental posterior stabilization leads to a comparable construct stability. *Sci Rep*. 2021;11(1):23816.
223. Yazu M, Kin A, Kosaka R, Kinoshita M, Abe M. Efficacy of novel-concept pedicle screw fixation augmented with calcium phosphate cement in the osteoporotic spine. *J Orthop Sci*. 2005;10(1):56-61.
224. Cook SD, Barbera J, Rubi M, Salkeld SL, Whitecloud TS, 3rd. Lumbosacral fixation using expandable pedicle screws. an alternative in reoperation and osteoporosis. *Spine J*. 2001;1(2):109-14.
225. Liu D, Lei W, Wu ZX, Gao MX, Wan SY, Fu SC, et al. Augmentation of pedicle screw stability with calcium sulfate cement in osteoporotic sheep: biomechanical and screw-bone interfacial evaluation. *J Spinal Disord Tech*. 2011;24(4):235-41.
226. Cook SD, Salkeld SL, Whitecloud TS, 3rd, Barbera J. Biomechanical evaluation and preliminary clinical experience with an expansive pedicle screw design. *J Spinal Disord*. 2000;13(3):230-6.
227. Cook SD, Salkeld SL, Stanley T, Faciane A, Miller SD. Biomechanical study of pedicle screw fixation in severely osteoporotic bone. *Spine J*. 2004;4(4):402-8.

228. Wan S, Lei W, Wu Z, Liu D, Gao M, Fu S. Biomechanical and histological evaluation of an expandable pedicle screw in osteoporotic spine in sheep. *Eur Spine J.* 2010;19(12):2122-9.
229. Koller H, Zenner J, Hitzl W, Resch H, Stephan D, Augat P, et al. The impact of a distal expansion mechanism added to a standard pedicle screw on pullout resistance. A biomechanical study. *Spine J.* 2013;13(5):532-41.
230. Gao M, Lei W, Wu Z, Liu D, Shi L. Biomechanical evaluation of fixation strength of conventional and expansive pedicle screws with or without calcium based cement augmentation. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011;26(3):238-44.
231. Liu D, Zhang Y, Zhang B, Xie QY, Wang CR, Liu JB, et al. Comparison of expansive pedicle screw and polymethylmethacrylate-augmented pedicle screw in osteoporotic sheep lumbar vertebrae: biomechanical and interfacial evaluations. *PLoS One.* 2013;8(9):e74827.
232. Wu ZX, Gao MX, Sang HX, Ma ZS, Cui G, Zhang Y, et al. Surgical treatment of osteoporotic thoracolumbar compressive fractures with open vertebral cement augmentation of expandable pedicle screw fixation: a biomechanical study and a 2-year follow-up of 20 patients. *J Surg Res.* 2012;173(1):91-8.
233. Liu D, Shi L, Lei W, Wei MQ, Qu B, Deng SL, et al. Biomechanical Comparison of Expansive Pedicle Screw and Polymethylmethacrylate-augmented Pedicle Screw in Osteoporotic Synthetic Bone in Primary Implantation: An Experimental Study. *Clin Spine Surg.* 2016;29(7):E351-7.
234. Wu ZX, Gong FT, Liu L, Ma ZS, Zhang Y, Zhao X, et al. A comparative study on screw loosening in osteoporotic lumbar spine fusion between expandable and conventional pedicle screws. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(4):471-6.
235. Mummaneni PV, Haddock SM, Liebschner MA, Keaveny TM, Rosenberg WS. Biomechanical evaluation of a double-threaded pedicle screw in elderly vertebrae. *J Spinal Disord Tech.* 2002;15(1):64-8.
236. Weiser L, Sellenschloh K, Puschel K, Morlock MM, Viezens L, Lehmann W, et al. Cortical threaded pedicle screw improves fatigue strength in decreased bone quality. *Eur Spine J.* 2021;30(1):128-35.
237. Liu MY, Tsai TT, Lai PL, Hsieh MK, Chen LH, Tai CL. Biomechanical comparison of pedicle screw fixation strength in synthetic bones: Effects of screw shape, core/thread profile and cement augmentation. *PLoS One.* 2020;15(2):e0229328.
238. Fini M, Giavaresi G, Greggi T, Martini L, Aldini NN, Parisini P, et al. Biological assessment of the bone-screw interface after insertion of uncoated and hydroxyapatite-coated pedicular screws in the osteopenic sheep. *J Biomed Mater Res A.* 2003;66(1):176-83.
239. Sanden B, Olerud C, Johansson C, Larsson S. Improved extraction torque of hydroxyapatite-coated pedicle screws. *Eur Spine J.* 2000;9(6):534-7.
240. Ohe M, Moridaira H, Inami S, Takeuchi D, Nohara Y, Taneichi H. Pedicle screws with a thin hydroxyapatite coating for improving fixation at the bone-implant interface in the osteoporotic spine: experimental study in a porcine model. *J Neurosurg Spine.* 2018;28(6):679-87.
241. Upasani VV, Farnsworth CL, Tomlinson T, Chambers RC, Tsutsui S, Slivka MA, et al. Pedicle screw surface coatings improve fixation in nonfusion spinal constructs. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34(4):335-43.
242. Sanden B, Olerud C, Petren-Mallmin M, Larsson S. Hydroxyapatite coating improves fixation of pedicle screws. A clinical study. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(3):387-91.
243. Yildirim OS, Aksakal B, Hanyaloglu SC, Erdogan F, Okur A. Hydroxyapatite dip coated and uncoated titanium poly-axial pedicle screws: an in vivo bovine model. *Spine (Phila Pa 1976).* 2006;31(8):E215-20.
244. Hasegawa T, Inufusa A, Imai Y, Mikawa Y, Lim TH, An HS. Hydroxyapatite-coating of pedicle screws improves resistance against pull-out force in the osteoporotic canine lumbar spine model: a pilot study. *Spine J.* 2005;5(3):239-43.

245. Jesse MK, Petersen B, Glueck D, Kriedler S. Effect of the Location of Endplate Cement Extravasation on Adjacent Level Fracture in Osteoporotic Patients Undergoing Vertebroplasty and Kyphoplasty. *Pain Physician*. 2015;18(5):E805-14.
246. Oakland RJ, Furtado NR, Wilcox RK, Timothy J, Hall RM. Preliminary biomechanical evaluation of prophylactic vertebral reinforcement adjacent to vertebroplasty under cyclic loading. *Spine J*. 2009;9(2):174-81.
247. Baroud G, Vant C, Wilcox R. Long-term effects of vertebroplasty: adjacent vertebral fractures. *J Long Term Eff Med Implants*. 2006;16(4):265-80.
248. Chevalier Y, Pahr D, Charlebois M, Heini P, Schneider E, Zysset P. Cement distribution, volume, and compliance in vertebroplasty: some answers from an anatomy-based nonlinear finite element study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(16):1722-30.
249. Kebaish KM, Martin CT, O'Brien JR, LaMotta IE, Voros GD, Belkoff SM. Use of vertebroplasty to prevent proximal junctional fractures in adult deformity surgery: a biomechanical cadaveric study. *Spine J*. 2013;13(12):1897-903.
250. Chen Z, Song C, Lin H, Sun J, Liu W. Does prophylactic vertebral augmentation reduce the refracture rate in osteoporotic vertebral fracture patients: a meta-analysis. *Eur Spine J*. 2021;30(9):2691-7.
251. Becker S, Garoscio M, Meissner J, Tuschel A, Ogon M. Is there an indication for prophylactic balloon kyphoplasty? A pilot study. *Clin Orthop Relat Res*. 2007;458:83-9.
252. Chen WJ, Kao YH, Yang SC, Yu SW, Tu YK, Chung KC. Impact of cement leakage into disks on the development of adjacent vertebral compression fractures. *J Spinal Disord Tech*. 2010;23(1):35-9.
253. Yang B, Zhao Y, Zhao Y. Is the incidence of sandwich vertebral fracture higher than that of ordinary adjacent vertebral fracture after PKP? *Medicine (Baltimore)*. 2022;101(27):e29900.
254. Sherrington C, Michaleff ZA, Fairhall N, Paul SS, Tiedemann A, Whitney J, et al. Exercise to prevent falls in older adults: an updated systematic review and meta-analysis. *Br J Sports Med*. 2017;51(24):1750-8.
255. Zhang ZL, Yang JS, Hao DJ, Liu TJ, Jing QM. Risk Factors for New Vertebral Fracture After Percutaneous Vertebroplasty for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Clin Interv Aging*. 2021;16:1193-200.
256. Deng D, Lian Z, Cui W, Liang H, Xiao L, Yao G. Function of low back muscle exercise : Preventive effect of refracture analysis of postoperative vertebral fractures. *Orthopade*. 2019;48(4):337-42.
257. Martyn-St James M, Carroll S. Meta-analysis of walking for preservation of bone mineral density in postmenopausal women. *Bone*. 2008;43(3):521-31.
258. Faber MJ, Bosscher RJ, Chin APMJ, van Wieringen PC. Effects of exercise programs on falls and mobility in frail and pre-frail older adults: A multicenter randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil*. 2006;87(7):885-96.
259. Briggs AM, Greig AM, Wark JD. The vertebral fracture cascade in osteoporosis: a review of aetiopathogenesis. *Osteoporos Int*. 2007;18(5):575-84.
260. Howe TE, Shea B, Dawson LJ, Downie F, Murray A, Ross C, et al. Exercise for preventing and treating osteoporosis in postmenopausal women. *Cochrane Database Syst Rev*. 2011(7):CD000333.
261. Zhang J, Fan Y, He X, Du J, Hao D. Bracing after percutaneous vertebroplasty for thoracolumbar osteoporotic vertebral compression fractures was not effective. *Clin Interv Aging*. 2019;14:265-70.
262. Bouza C, Lopez T, Magro A, Navalpotro L, Amate JM. Efficacy and safety of balloon kyphoplasty in the treatment of vertebral compression fractures: a systematic review. *Eur Spine J*. 2006;15(7):1050-67.
263. Kim HJ, Zuckerman SL, Cerpa M, Yeom JS, Lehman RA, Jr., Lenke LG. Incidence and Risk Factors for Complications and Mortality After Vertebroplasty or Kyphoplasty in the Osteoporotic Vertebral Compression Fracture-Analysis of 1,932 Cases From the American College of Surgeons National Surgical Quality Improvement. *Global Spine J*. 2022;12(6):1125-34.

264. Zhan Y, Jiang J, Liao H, Tan H, Yang K. Risk Factors for Cement Leakage After Vertebroplasty or Kyphoplasty: A Meta-Analysis of Published Evidence. *World Neurosurg.* 2017;101:633-42.
265. Wang Q, Sun C, Zhang L, Wang L, Ji Q, Min N, et al. High- versus low-viscosity cement vertebroplasty and kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fracture: a meta-analysis. *Eur Spine J.* 2022;31(5):1122-30.
266. Fribourg D, Tang C, Sra P, Delamarter R, Bae H. Incidence of subsequent vertebral fracture after kyphoplasty. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29(20):2270-6; discussion 7.
267. Li YA, Lin CL, Chang MC, Liu CL, Chen TH, Lai SC. Subsequent vertebral fracture after vertebroplasty: incidence and analysis of risk factors. *Spine (Phila Pa 1976).* 2012;37(3):179-83.
268. Hoff M, Skurtveit S, Meyer HE, Langhammer A, Sogaard AJ, Syversen U, et al. Anti-osteoporosis drug use: too little, too much, or just right? The HUNT study, Norway. *Osteoporos Int.* 2018;29(8):1875-85.
269. Kawabata A, Yoshii T, Hirai T, Ushio S, Kaito T, Yamashita T, et al. Effect of bisphosphonates or teriparatide on mechanical complications after posterior instrumented fusion for osteoporotic vertebral fracture: a multi-center retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):420.
270. Lidar S, Salame K, Chua M, Khashan M, Ofir D, Grundstein A, et al. Sarcopenia Is an Independent Risk Factor for Subsequent Osteoporotic Vertebral Fractures Following Percutaneous Cement Augmentation in Elderly Patients. *J Clin Med.* 2022;11(19).
271. Krenzlin H, Schmidt L, Jankovic D, Schulze C, Brockmann MA, Ringel F, et al. Impact of Sarcopenia and Bone Mineral Density on Implant Failure after Dorsal Instrumentation in Patients with Osteoporotic Vertebral Fractures. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(6).
272. Okamoto Y, Murakami H, Demura S, Kato S, Yoshioka K, Hayashi H, et al. The effect of kyphotic deformity because of vertebral fracture: a finite element analysis of a 10 degrees and 20 degrees wedge-shaped vertebral fracture model. *Spine J.* 2015;15(4):713-20.
273. Adams MA, Pollintine P, Tobias JH, Wakley GK, Dolan P. Intervertebral disc degeneration can predispose to anterior vertebral fractures in the thoracolumbar spine. *J Bone Miner Res.* 2006;21(9):1409-16.
274. Lu X, Yang J, Zhu Z, Lv X, Wu J, Huang J, et al. Changes of the adjacent discs and vertebrae in patients with osteoporotic vertebral compression fractures treated with or without bone cement augmentation. *Spine J.* 2020;20(7):1048-55.
275. Bigdon SF, Saldarriaga Y, Oswald KAC, Muller M, Deml MC, Benneker LM, et al. Epidemiologic analysis of 8000 acute vertebral fractures: evolution of treatment and complications at 10-year follow-up. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):270.
276. Horn SR, Pierce KE, Oh C, Segreto FA, Egers M, Bortz C, et al. Predictors of Hospital-Acquired Conditions Are Predominately Similar for Spine Surgery and Other Common Elective Surgical Procedures, With Some Key Exceptions. *Global Spine J.* 2019;9(7):717-23.
277. Phan K, Rao PJ, Mobbs RJ. Percutaneous versus open pedicle screw fixation for treatment of thoracolumbar fractures: Systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Clin Neurol Neurosurg.* 2015;135:85-92.
278. Sun XY, Zhang XN, Hai Y. Percutaneous versus traditional and paraspinal posterior open approaches for treatment of thoracolumbar fractures without neurologic deficit: a meta-analysis. *Eur Spine J.* 2017;26(5):1418-31.
279. Hackel S, Renggli AA, Albers CE, Benneker LM, Deml MC, Bigdon SF, et al. "How to measure the outcome in the surgical treatment of vertebral compression fractures? A systematic literature review of highly cited level-I studies". *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):579.
280. Boonen S, Van Meirhaeghe J, Bastian L, Cummings SR, Ranstam J, Tillman JB, et al. Balloon kyphoplasty for the treatment of acute vertebral compression fractures: 2-year results from a randomized trial. *J Bone Miner Res.* 2011;26(7):1627-37.
281. Liu JT, Liao WJ, Tan WC, Lee JK, Liu CH, Chen YH, et al. Balloon kyphoplasty versus vertebroplasty for treatment of osteoporotic vertebral compression fracture: a prospective, comparative, and randomized clinical study. *Osteoporos Int.* 2010;21(2):359-64.

282. Blattert TR, Jestaedt L, Weckbach A. Suitability of a calcium phosphate cement in osteoporotic vertebral body fracture augmentation: a controlled, randomized, clinical trial of balloon kyphoplasty comparing calcium phosphate versus polymethylmethacrylate. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(2):108-14.
283. Farrokhi MR, Alibai E, Maghami Z. Randomized controlled trial of percutaneous vertebroplasty versus optimal medical management for the relief of pain and disability in acute osteoporotic vertebral compression fractures. *J Neurosurg Spine*. 2011;14(5):561-9.
284. Roghani T, Zavieh MK, Manshadi FD, King N, Katzman W. Age-related hyperkyphosis: update of its potential causes and clinical impacts-narrative review. *Aging Clin Exp Res*. 2017;29(4):567-77.
285. Huskisson EC. Measurement of pain. *Lancet*. 1974;2(7889):1127-31.
286. Muller U, Duetz MS, Roeder C, Greenough CG. Condition-specific outcome measures for low back pain. Part I: validation. *Eur Spine J*. 2004;13(4):301-13.
287. Roland M, Fairbank J. The Roland-Morris Disability Questionnaire and the Oswestry Disability Questionnaire. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(24):3115-24.
288. Mahoney FI, Barthel DW. Functional Evaluation: The Barthel Index. *Md State Med J*. 1965;14:61-5.
289. Bullinger M. German translation and psychometric testing of the SF-36 Health Survey: preliminary results from the IQOLA Project. *International Quality of Life Assessment*. *Soc Sci Med*. 1995;41(10):1359-66.
290. Rabin R, de Charro F. EQ-5D: a measure of health status from the EuroQol Group. *Ann Med*. 2001;33(5):337-43.
291. Cup EH, Scholte op Reimer WJ, Thijssen MC, van Kuyk-Minis MA. Reliability and validity of the Canadian Occupational Performance Measure in stroke patients. *Clin Rehabil*. 2003;17(4):402-9.
292. Chan CCHL, Tatia M.C. . Validity of the Canadian occupational performance measure. . *Occupation Therapy Intl* 1997;4(3):231-49.
293. Simmons DC, Crepeau EB, White BP. The predictive power of narrative data in occupational therapy evaluation. *Am J Occup Ther*. 2000;54(5):471-6.
294. Ripat J, Etcheverry E, Cooper J, Tate RB. A comparison of the Canadian Occupational Performance Measure and the Health Assessment Questionnaire. *Can J Occup Ther*. 2001;68(4):247-53.
295. Donnelly C, Eng JJ, Hall J, Alford L, Giachino R, Norton K, et al. Client-centred assessment and the identification of meaningful treatment goals for individuals with a spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2004;42(5):302-7.
296. Edwards M, Baptiste S, Stratford PW, Law M. Recovery after hip fracture: what can we learn from the Canadian Occupational Performance Measure? *Am J Occup Ther*. 2007;61(3):335-44.
297. Law M, Polatajko H, Pollock N, McColl MA, Carswell A, Baptiste S. Pilot testing of the Canadian Occupational Performance Measure: clinical and measurement issues. *Can J Occup Ther*. 1994;61(4):191-7.
298. Carpenter L, Baker GA, Tyldesley B. The use of the Canadian occupational performance measure as an outcome of a pain management program. *Can J Occup Ther*. 2001;68(1):16-22.
299. Wressle ES, Kersti; Henriksson, Chris. Responsiveness of the Swedish Version of the Canadian Occupational Performance Measure. *Scandinavian journal of occupational therapy*. 1999;6(2):84-9.
300. Ensrud KE, Kats AM, Schousboe JT, Taylor BC, Vo TN, Cawthon PM, et al. Frailty Phenotype and Healthcare Costs and Utilization in Older Men. *J Am Geriatr Soc*. 2020;68(9):2034-42.
301. Schlaich C, Minne HW, Bruckner T, Wagner G, Gebest HJ, Grunze M, et al. Reduced pulmonary function in patients with spinal osteoporotic fractures. *Osteoporos Int*. 1998;8(3):261-7.
302. McKiernan F, Faciszewski T, Jensen R. Quality of life following vertebroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(12):2600-6.
303. Suzuki N, Ogikubo O, Hansson T. Previous vertebral compression fractures add to the deterioration of the disability and quality of life after an acute compression fracture. *Eur Spine J*. 2010;19(4):567-74.

304. Ensrud KE, Thompson DE, Cauley JA, Nevitt MC, Kado DM, Hochberg MC, et al. Prevalent vertebral deformities predict mortality and hospitalization in older women with low bone mass. Fracture Intervention Trial Research Group. *J Am Geriatr Soc.* 2000;48(3):241-9.
305. Gold LS, Suri P, O'Reilly MK, Kallmes DF, Heagerty PJ, Jarvik JG. Mortality among older adults with osteoporotic vertebral fracture. *Osteoporos Int.* 2023;34(9):1561-75.
306. Lotan R, Smorgick Y, Anekstein Y, Rudik O, Proso I, Hershkovich O. Kyphoplasty for Elderly Patients With Vertebral Compression Fractures-Do We Save Lives? Mortality Rates Analysis Comparison in a Long-Term Follow-Up Cohort. *Global Spine J.* 2022;12(7):1443-8.
307. Leidig-Bruckner G, Minne HW, Schlaich C, Wagner G, Scheidt-Nave C, Bruckner T, et al. Clinical grading of spinal osteoporosis: quality of life components and spinal deformity in women with chronic low back pain and women with vertebral osteoporosis. *J Bone Miner Res.* 1997;12(4):663-75.
308. Johansson H, Oden A, McCloskey EV, Kanis JA. Mild morphometric vertebral fractures predict vertebral fractures but not non-vertebral fractures. *Osteoporos Int.* 2014;25(1):235-41.
309. Sinaki M, Khosla S, Limburg PJ, Rogers JW, Murtaugh PA. Muscle strength in osteoporotic versus normal women. *Osteoporos Int.* 1993;3(1):8-12.
310. 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(8):1564-72.
311. Leech JA, Dulberg C, Kellie S, Pattee L, Gay J. Relationship of lung function to severity of osteoporosis in women. *Am Rev Respir Dis.* 1990;141(1):68-71.
312. Leech JA, Ernst P, Rogala EJ, Gurr J, Gordon I, Becklake MR. Cardiorespiratory status in relation to mild deformity in adolescent idiopathic scoliosis. *J Pediatr.* 1985;106(1):143-9.
313. Hinrichs-Rocker A, Schulz K, Jarvinen I, Lefering R, Simanski C, Neugebauer EA. Psychosocial predictors and correlates for chronic post-surgical pain (CPSP) - a systematic review. *Eur J Pain.* 2009;13(7):719-30.
314. Kehlet H, Jensen TS, Woolf CJ. Persistent postsurgical pain: risk factors and prevention. *Lancet.* 2006;367(9522):1618-25.
315. Möckel LT, Y. Effektivität von Ergotherapie bei Menschen mit Depression - eine Metaanalyse. *ergoscience.* 2020;15:90-7.
316. Jess P, Jess T, Beck H, Bech P. Neuroticism in relation to recovery and persisting pain after laparoscopic cholecystectomy. *Scand J Gastroenterol.* 1998;33(5):550-3.
317. Siegel P, Tencza M, Apodaca B, Poole JL. Effectiveness of Occupational Therapy Interventions for Adults With Rheumatoid Arthritis: A Systematic Review. *Am J Occup Ther.* 2017;71(1):7101180050p1-p11.
318. S2k-Leitlinie „Rehabilitation nach traumatischen Frakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule ohne neurologische Ausfälle“. (AWMF-Register Nr: 187-002).
319. Venmans A, Klazen CA, Lohle PN, Mali WP, van Rooij WJ. Natural history of pain in patients with conservatively treated osteoporotic vertebral compression fractures: results from VERTOS II. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2012;33(3):519-21.
320. Chen D, An ZQ, Song S, Tang JF, Qin H. Percutaneous vertebroplasty compared with conservative treatment in patients with chronic painful osteoporotic spinal fractures. *J Clin Neurosci.* 2014;21(3):473-7.
321. Hasserijs R, Karlsson MK, Jonsson B, Redlund-Johnell I, Johnell O. Long-term morbidity and mortality after a clinically diagnosed vertebral fracture in the elderly--a 12- and 22-year follow-up of 257 patients. *Calcif Tissue Int.* 2005;76(4):235-42.
322. Bae H, Hatten HP, Jr., Linovitz R, Tahernia AD, Schaufele MK, McCollom V, et al. A prospective randomized FDA-IDE trial comparing Cortoss with PMMA for vertebroplasty: a comparative effectiveness research study with 24-month follow-up. *Spine (Phila Pa 1976).* 2012;37(7):544-50.
323. Gehlbach S, Saag KG, Adachi JD, Hooven FH, Flahive J, Boonen S, et al. Previous fractures at multiple sites increase the risk for subsequent fractures: the Global Longitudinal Study of Osteoporosis in Women. *J Bone Miner Res.* 2012;27(3):645-53.

324. Anderson PA, Froysheter AB, Tontz WL, Jr. Meta-analysis of vertebral augmentation compared with conservative treatment for osteoporotic spinal fractures. *J Bone Miner Res.* 2013;28(2):372-82.
325. Shi MM, Cai XZ, Lin T, Wang W, Yan SG. Is there really no benefit of vertebroplasty for osteoporotic vertebral fractures? A meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2012;470(10):2785-99.
326. Beall D, Lorio MP, Yun BM, Runa MJ, Ong KL, Warner CB. Review of Vertebral Augmentation: An Updated Meta-analysis of the Effectiveness. *Int J Spine Surg.* 2018;12(3):295-321.
327. Takahashi S, Hoshino M, Yasuda H, Hori Y, Ohyama S, Terai H, et al. Development of a scoring system for predicting adjacent vertebral fracture after balloon kyphoplasty. *Spine J.* 2019;19(7):1194-201.
328. Dohm M, Black CM, Dacre A, Tillman JB, Fueredi G, investigators K. A randomized trial comparing balloon kyphoplasty and vertebroplasty for vertebral compression fractures due to osteoporosis. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2014;35(12):2227-36.
329. Liu JT, Li CS, Chang CS, Liao WJ. Long-term follow-up study of osteoporotic vertebral compression fracture treated using balloon kyphoplasty and vertebroplasty. *J Neurosurg Spine.* 2015;23(1):94-8.
330. Li Y, Yue J, Huang M, Lin J, Huang C, Chen J, et al. Risk factors for postoperative residual back pain after percutaneous kyphoplasty for osteoporotic vertebral compression fractures. *Eur Spine J.* 2020;29(10):2568-75.
331. Tsai YW, Hsiao FY, Wen YW, Kao YH, Chang LC, Huang WF, et al. Clinical outcomes of vertebroplasty or kyphoplasty for patients with vertebral compression fractures: a nationwide cohort study. *J Am Med Dir Assoc.* 2013;14(1):41-7.
332. Jalava T, Sarna S, Pylkkanen L, Mawer B, Kanis JA, Selby P, et al. Association between vertebral fracture and increased mortality in osteoporotic patients. *J Bone Miner Res.* 2003;18(7):1254-60.
333. Lau E, Ong K, Kurtz S, Schmier J, Edidin A. Mortality following the diagnosis of a vertebral compression fracture in the Medicare population. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(7):1479-86.
334. DVO - Dachverband Osteologie e.V., Körperliches Training zur Frakturprophylaxe, AWMF Registernummer 183-2, Version vom 11.02.2025, Verfügbar unter: https://register.awmf.org/assets/guidelines/183-002l_S3_Training_Frakturprophylaxe_2025-02.pdf Zugriff am: 22.02.2025
335. EUnetHTA OTCA19 Assessment Team. (2019) Screening for osteoporosis in the general population. Collaborative Assessment. Diemen (The Netherlands): EUnetHTA; 2019. Report No.: OTCA19. Available from <https://mtrconsult.com/news/eunetha-published-assessment-screening-osteoporosis-general-population>, Zugriff am: 10.03.2025
336. Sun X, Chen Y, Gao Y, Zhang Z, Qin L, Song J, et al. Prediction Models for Osteoporotic Fractures Risk: A Systematic Review and Critical Appraisal. *Aging Dis.* 2022;13(4):1215–38. doi:10.14336/AD.2021.1206.
337. Hippisley-Cox J, Coupland C: Derivation and validation of updated QFracture risk algorithm to predict risk of osteoporotic fracture in primary care in the United Kingdom: prospective open cohort study, *BMJ* 2012 May 22;344:e3427. doi: 10.1136/bmj.e3427
338. <https://frax.shef.ac.uk/FRAX/?lang=de>, Zugriff am: 22.02.2025
339. <https://qfracture.org/>, Zugriff am: 22.02.2025