

Orthopädie 2022 · 51:547–555  
<https://doi.org/10.1007/s00132-022-04261-6>  
Angenommen: 27. März 2022  
Online publiziert: 23. Mai 2022  
© Der/die Autor(en) 2022



# Insuffizienzfrakturen der Wirbelsäule in Abhängigkeit von der spongiösen Knochendichte

## Eine in-vitro-Studie

Guido Schröder<sup>1</sup> · Dirk Flachsmeyer<sup>1</sup> · Claus Maximilian Kullen<sup>2</sup> · Julian Ramin Andresen<sup>3</sup> · Marko Schulze<sup>4</sup> · Laura Hiepe<sup>5</sup> · Hans-Christof Schober<sup>6</sup> · Reimer Andresen<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Warnow Klinik Bützow, Bützow, Deutschland; <sup>2</sup> Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie/Neuroradiologie, Westküstenklinikum Heide, Akademisches Lehrkrankenhaus der Universitäten Kiel, Lübeck und Hamburg, Heide, Deutschland; <sup>3</sup> Medizinische Fakultät, Sigmund-Freud-Privatuniversität, Wien, Österreich; <sup>4</sup> Institut für Anatomie und Zellbiologie, Universität Bielefeld, Bielefeld, Deutschland; <sup>5</sup> Institut für Anatomie, Universitätsmedizin Rostock, Rostock, Deutschland; <sup>6</sup> Klinikum Südstadt Rostock, Klinik für Innere Medizin IV, Akademisches Lehrkrankenhaus der Universität Rostock, Rostock, Deutschland

### Zusammenfassung

**Hintergrund:** Das Risiko für osteoporotische Insuffizienzfrakturen (Fx) am Achsenskelett steigt mit zunehmender Abnahme der Knochendichte, wobei sich thorakal und thorakolumbal eine Häufung findet. Um die unterschiedliche Verteilung von Fx entlang der Wirbelsäule (WS) besser zu verstehen, wurden morphologische und osteodensitometrische Untersuchungen mittels Computertomographie (CT) in den verschiedenen WS-Abschnitten durchgeführt. Zudem war zu klären, ob die bei CT-Untersuchungen aus anderen Indikationen gefunden Hounsfield-Einheiten (HE) mit der Knochendichte korrelieren und Anlass für eine osteologische Diagnostik sein könnten.

**Material und Methoden:** Von 26 Körperspenden wurden die gesamten WS in einem Plexiglas-Wasser-Phantom fixiert und mittels hochauflösende Spiral-CT analysiert. Zusätzlich erfolgte die Messung der CT-morphologischen Spongiosadichte in HE von C3 bis S2 (624 Wirbelkörper). Der Knochenmineralgehalt (KMG, mg/ml) wurde ermittelt und zur Abschätzung einer Osteoporose (OPO) herangezogen.

**Ergebnisse:** Bei allen WS lag eine OPO vor. Bei einem KMG unterhalb von 60 mg/ml fanden sich signifikant vermehrte Sinterungsfrakturen im thorakalen und thorakolumbalen Bereich. Osteoporotische Insuffizienzfrakturen im HWS-Bereich fanden sich insgesamt nicht. Die Spongiosadichte war signifikant höher in den zervikalen (Median 188,6 HE) als in den lumbalen (Median 63,6 HE) und sakralen (Median 25,5 HE) Wirbelkörpern aller untersuchten WS.

**Schlussfolgerung:** Ein KMG-Verlust der Wirbelkörperspongiosa führt zu einem erhöhten Fx-Risiko, welches sich auch bei den verwendeten WS findet. Jedoch wird im zervikalen Bereich ein scheinbarer Schwellenwert für das Auftreten von Sinterungsfrakturen nicht unterschritten. Einen Schwellenwert für HE zu finden, wäre für die klinische Praxis relevant.

### Schlüsselwörter

Knochenmineralgehalt · Computertomographie · Leiche · Osteoporose · Wirbelkörper



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Die OPO stellt für die betroffenen Patienten bei Auftreten von Frakturen ein ernstes Problem dar. In Deutschland sind circa 8 Mio. Menschen von OPO betroffen [22]. Die Inzidenz für klinisch auffällige osteoporotische Wirbelkörperfrakturen beträgt circa 1,4 Mio. weltweit [23]. Aufgrund fehlender Diagnostik wird eine OPO erst spät oder nicht erkannt [24]. Insbesondere bei älteren Personen werden eine Vielzahl von CT-Untersuchungen durchgeführt. Eine routinemäßige Ermittlung der Hounsfield-Einheiten des Knochens im Rahmen dieser Untersuchungen könnte hier eine Lücke schließen.

### Hintergrund und Fragestellung

Die OPO zählen zu den metabolischen Knochenkrankungen, bei denen durch eine Verminderung der Knochenmasse, -struktur und -funktion eine Fraktur bereits bei einem Niedrigenergie trauma eintreten kann [32]. Osteoporotische Frakturen finden sich unabhängig von Geschlecht und Alter vor allem im Bereich des distalen Radius, des proximalen Femurs und der Wirbelsäule (WS) [21]. Wirbelkörperfrakturen gehen mit gesundheitlichen und wirtschaftlichen

Belastungen einher, erhöhen die Morbidität und Mortalität und beeinträchtigen die Lebensqualität [30]. Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen treten bei deutlich reduzierter spongioser Knochendichte vor allem thorakal, thorakolumbal und sakral – nicht jedoch zervikal auf [37, 38]. Eine höhere Knochenmasse und eine größere Interkonnektivität der Spongiosa im Bereich der Halswirbelsäule (HWS) wurde in einer früheren histomorphometrischen Arbeit beschrieben [20]. Da Wirbelkörperfrakturen häufig klinisch stumm verlaufen, kommt der Bildgebung nicht nur nach dem Auftreten von Symptomen, sondern auch beim Screening eine wichtige Rolle zu. Die Knochendichte als wichtiger Faktor der Festigkeit wird mit verschiedenen Methoden ermittelt, einfach wäre die Angabe der Hounsfield Einheiten (HE). Insbesondere im Hinblick auf eine präventive Behandlung einer osteoporotischen Fraktur, aber auch im Rahmen einer optimalen chirurgischen Vorbereitung eines Wirbelsäuleneingriffs, ist die Bestimmung der Knochenqualität entscheidend für den Behandlungserfolg [10]. Als Goldstandard für die Bestimmung der Knochendichte und Identifizierung einer Osteoporose gilt die Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie (DEXA) [17].

Eine Bewertung der HE in der Standard-CT könnte eine Schätzung der Knochendichte liefern, die diagnostische Leistung verbessern und unnötige Strahlenbelastung reduzieren [10].

Untersuchungen zu HE in der gesamten Wirbelsäule sind selten. Die Ermittlung der HE in den WS-Abschnitten und eine Einordnung in den Knochenverlust der Wirbelsäule mit dem sich entwickelnden Frakturrisiko ist von Interesse. Inwieweit Messungen an anderen Orten als der Lendenwirbelsäule (LWS) eine Rolle spielen, ist für die klinische Praxis (CT HWS, CT Thorax) relevant [14]. Um die Verteilung der HE über die gesamte WS zu verstehen und zusätzliche Informationen zur Knochenqualität zu generieren, wurden mittels CT morphologische und osteodensitometrische Untersuchungen in den verschiedenen Wirbelsäulenabschnitten von 26 Körperspenden durchgeführt.

## Methoden

### Studiendesign und Ethik

Die nachfolgende multizentrische, klinische, In-vitro-Untersuchung wurde durch die zuständige regionale Ethikkommission der Universitätsmedizin geprüft und genehmigt (Nr. A 2017–0072). Alle Probanden waren Teilnehmer des Körperspendeprogramms der Universitätsmedizin und hatten zu Lebzeiten die freiwillige Einwilligung erteilt, ihren Körper nach dem Tod der wissenschaftlichen Forschung zur Verfügung zu stellen. Die Methoden, die zur Gewinnung von menschlichem Gewebe genutzt wurden, entsprechen den ethischen Standards der Deklaration von Helsinki. Die anamnestischen Angaben beschränkten sich auf die Diagnosen der Todesbescheinigung. Die Gruppenzuweisung erfolgte anhand der Lage der Wirbelkörper in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten (HWS, BWS, LWS, SWS).

### Ein- und Ausschlusskriterien

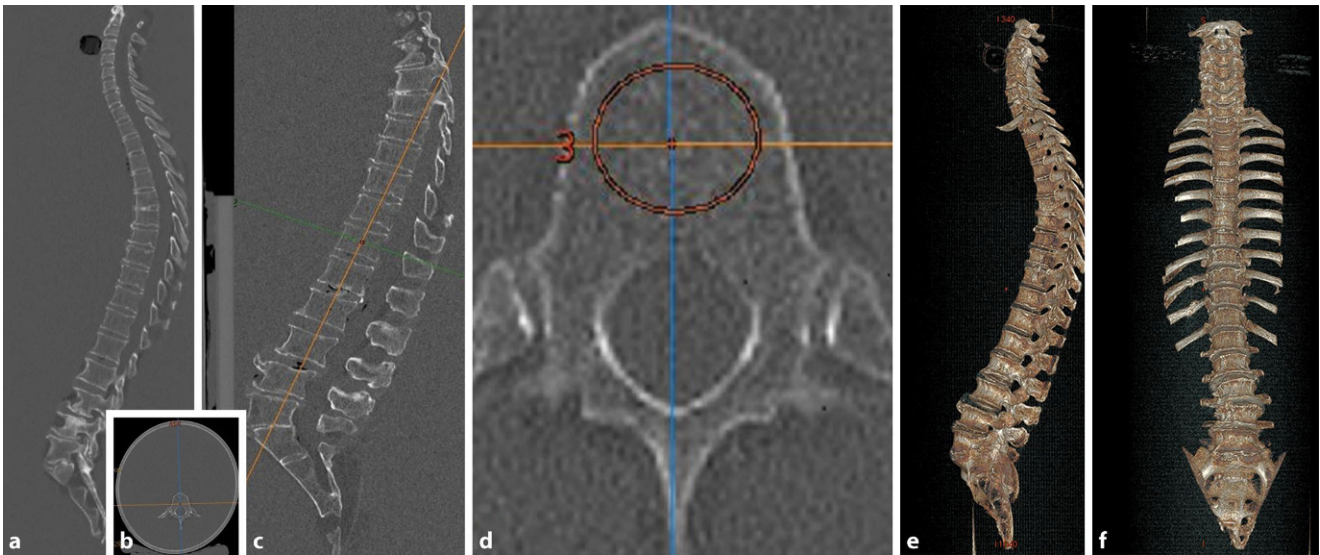
Die Einschlusskriterien der klinischen Untersuchung waren das Vorliegen von 24 Wirbelkörpern pro entnommene Wirbelsäule und das fortgeschrittene Lebensalter. Ausschlusskriterien waren relevante anatomische Deformitäten, das Vorliegen einer Wachstumsretardierung, schwere Knochenkrankungen, wie Tumoren, Knochenmetastasen, Morbus Paget, Wirbelfusionen, Skoliose oder die Bildung von Blockwirbeln sowie vorangegangene Operationen mit Fremdmaterial in der Wirbelsäule.

### Bildgebende Diagnostik

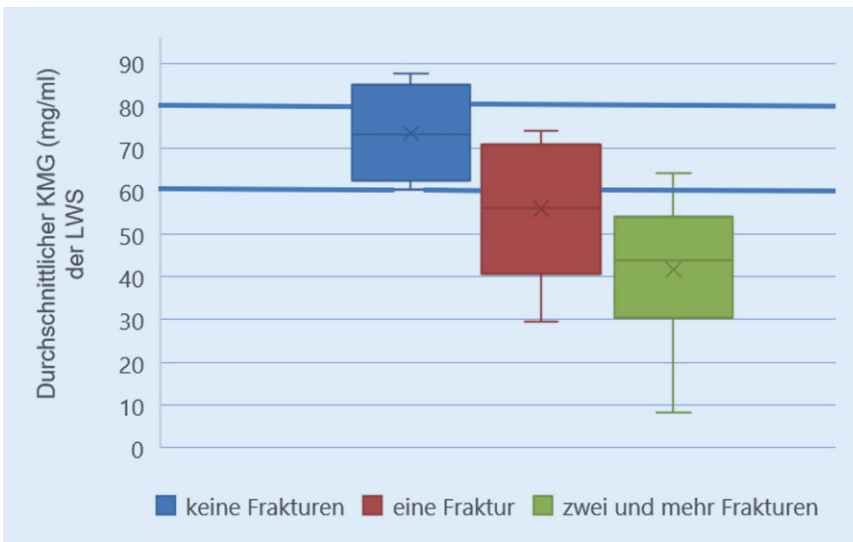
Von 26 Körperspenden wurden die gesamten Wirbelsäulen, zur Simulation eines homogenen, anatomisch analogen Körperrumfangs, möglichst luftfrei, in ein Plexiglas-Wasser-Phantom (KG-Rohr aus Hart-Polyvinylchlorid, PVC-U) mit einem Durchmesser von 25 cm und einer Länge von 125 cm fixiert (Abb. 1a und b, [2]). Danach wurde ein hochauflösendes Spiral-CT (GE Revolution EVO/64 Zeilen CT/laterales Scanogramm, axiale Schichtdicke < 1 mm, sowie axiale und sagittale Reformation mit einer Schichtdicke von 2 mm) durchge-

### Abkürzungen

BMD	Bone mineral density
BWK	Brustwirbelkörper
BWS	Brustwirbelsäule
COX	Cyclooxygenase
CT	Computertomographie
DEXA	Dual-Energie-Röntgenabsorptiometrie
Fx	Fraktur
GE	General Electric
HE	Hounsfield Einheiten
HWK	Halswirbelkörper
HWS	Halswirbelsäule
KG-Rohr	Kanalgrundrohr
KMG	Knochenmineralgehalt
LWK	Lendenwirbelkörper
LWS	Lendenwirbelsäule
MW ± SD	Mittelwert ± Standardabweichung
n	Anzahl
Nr	Nummer
OPO	Osteoporose
PVC	Polyvinylchlorid
Q1–Q3	Quartil 1 bis 3
QCT	quantitative Computertomografie
ROI	Range of Interest
SWK	Sakralwirbelkörper
SWS	Sakralwirbelsäule
WS	Wirbelsäule



**Abb. 1** ▲ Visualisierung des Versuchsaufbaus, der Bildreformation und der Dichtemessung. Lage einer eingebetteten Wirbelsäule im PVC-Wasser-Phantom (a laterales Scanogram und b axiales CT-Schnittbild). Zur Simulation des Weichteilmantels wurde die Wirbelsäule möglichst luftfrei in Wasser eingebettet, der Querdurchmesser des Phantoms beträgt 25 cm. Zu Detektion von Frakturen erfolgte eine sagittale, möglichst planparallel zu den Grund- und Deckplatten ausgerichtete Rekonstruktion (c). Mit einer individuell, mittvertebral in jedem Wirbelkörper der Columna vertebralis positionierten Region von Interesse (ROI) erfolgte die Dichtebestimmung in HE (Hounsfield-Einheiten), abgebildet ist exemplarisch der Brustwirbelkörper 12 mit einer Dichte von 41,9 HE (d). e, f Visualisierung der gesamten Wirbelsäulen in einer 3-D-Volumendarstellung, im Bild in einer lateralen (e) und in einer frontalen (f) Draufsicht



**Abb. 2** ▲ Lumbaler Knochenmineralgehalt (KMG in mg/ml) bezogen auf die Anzahl der Frakturen. Dabei ist ein KMG von unter 80 mg/ml definiert als Osteoporose, bei Werten unter 60 mg/ml steigt das Frakturrisiko signifikant. Deutlich reduzierter KMG führt zu erhöhter Frakturanzahl im thorakalen Bereich sowie im thorakolumbalen Übergang und lumbal. Es fanden sich keine Frakturen in den zervikalen Abschnitten der untersuchten Wirbelsäulen

führt. In den sagittal reformierten Schnittbildern (Abb. 1c) erfolgte die Detektion und Gradeinteilung von Wirbelkörperdeformitäten [19] durch zwei unabhängige Radiologen. Zur Visualisierung der gesamten Wirbelsäulen-anatomie erfolgte eine 3-D-Volumendarstellung an einer exter-

nen Workstation (GE AW-Server® Version 2.0. Vermessung der Wirbelsäulen in GE CentricityRIS-i® Version 5.0, GE Healthcare, Solingen, Deutschland) (Abb. 1e).

## Bestimmung der Hounsfield-Einheiten und der Knochendichte

Die Messung der CT-morphologischen Spongiosadichte in HE der einzelnen Wirbelkörper von HWK 3 bis SWK2 (insgesamt 624 Wirbelkörper) erfolgte jeweils durch eine manuell positionierte Region von Interesse im spongiosen Raum. Die Region von Interesse wurde so groß wie möglich gewählt, wobei der Wirbelkörperkortex ausgespart wurde (Abb. 1d).

Für die weitere Berechnung verwendeten wir den Mittelwert des Wirbelkörpers in der axialen, koronaren und sagittalen Ebene. Aus diesen drei Werten wurde der Mittelwert der HE des jeweiligen Wirbelkörpers berechnet. Um Intraobserver-Unterschiede zu vermeiden, wurde die HE-Messung in unserer Studie immer von demselben Radiologen durchgeführt.

Die Bestimmung des spongiosen Knochenmineralgehalts erfolgte rechnerisch anhand der Formel:  $QCT\text{-Wert} = 17,8 + 0,7 \times HE$  [10]. Der Mittelwert angegeben in mg/ml wurde zur Abschätzung einer Osteoporose herangezogen.

Darüber hinaus wurde die Knochenmineralgehaltsbestimmung mithilfe der quantitativen CT (GE Revolution EVO/64 Zei-

Tab. 1 Charakterisierung der Gesamtstichprobe			
Parameter	Gesamtgruppe (n = 26)	Männer (n = 9)	Frauen (n = 17)
Alter (Jahren)	81,3 ± 8,0	78,4 ± 6,3	82,8 ± 8,5
Geschlecht (Männer/Frauen)	9/17	9	17
Body-Mass-Index (kg/m <sup>2</sup> )	22,0 ± 5,2	23,5 ± 6,0	21,2 ± 4,7
Entnommene Segmente	C3-S2	C3-S2	C3-S2
Wirbelkörperfrakturen (MW ± SD)	2,0 ± 1,3	2,0 ± 1,3	2,1 ± 1,3
Anzahl untersuchter Wirbelkörper (n)	624	216	408
Variablen ausgedrückt als Mittelwert ± Standardabweichung (MW ± SD) und Anzahl an Observationen (n)			

len Computertomograph sowie Mindways Software 3D Volumetric QCT Spine, Austin, Tx, USA) vorgenommen. Diese erfolgte im Volumenblock auf Höhe von LWK 1, LWK 2 und LWK 3. Der Mittelwert – angegeben in mg/ml – wurde zur Einordnung der errechneten Knochendichte herangezogen.

### Statistik

Die erhobenen Daten wurden mit dem statistischen Softwarepaket SPSS, Version 23.0 (SPSS 10 Inc., Chicago, IL, USA) analysiert. Die Beschreibung der quantitativen Merkmale erfolgte bei parametrischen Tests jeweils als Mittelwert (MW), Standardabweichung (SD) und Anzahl (n) der verfügbaren Beobachtungen, sie wurden mithilfe des Intervalls Mittelwert ± Standardabweichung (M ± SD) dargestellt. Bei nichtparametrischen Tests erfolgte die Darstellung jeweils als Median mit dazugehörigem erstem und drittem Quartil (Q1–Q3). Für Vergleiche zwischen den Gruppen kam der Kruskal-Wallis-Test zum Einsatz. Die Wahl zwischen diesen wurde in Abhängigkeit vom Resultat des Shapiro-Wilk-Tests auf Normalverteilung getroffen. Bei signifikanten Ergebnissen führten die Autoren paarweise Vergleiche durch. Gleichzeitig wurden die Effektstärken nach Cohen (d) berechnet und Werte < 0,5 als kleiner, zwischen 0,5 und 0,8 als mittlerer sowie > 0,8 als großer Effekt angenommen. Alle p-Werte sind das Resultat zweiseitiger statistischer Tests: prinzipiell wird  $p < 0,05$  als signifikant angesehen.

### Ergebnisse

Insgesamt wurden Daten von 624 Wirbelkörpern aus 26 humanen Körperspenden ausgewertet, darunter waren 9 Männer und 17 Frauen im Alter von 66–102 Jahren (Durchschnittsalter 81,3 ± 8,0 Jahre).

Vier Wirbelsäulen wurden aufgrund von Metastasen, einer fortgeschrittenen Skoliose, einer idiopathischen skelettalen Hyperostose und einer Blockwirbelbildung von der weiteren Untersuchung ausgeschlossen. Der Body-Mass-Index (BMI) der Gesamtgruppe betrug im Mittel 22,0 ± 5,2 kg/m<sup>2</sup>. Die verfügbare Krankengeschichte beschränkte sich auf die Todesursache. Einen anamnestischen Überblick bietet die **Tab. 1**.

Bei allen Wirbelsäulen lag eine Osteoporose vor. Bei einem Knochenmineralgehalt unterhalb von 60 mg/ml fanden sich signifikant vermehrte Sinterungsfrakturen im thorakalen und thorakolumbalen Bereich (**Abb. 2**). Geschlechterübergreifend war der LWK 1 mit insgesamt 12 Frakturen am häufigsten betroffen. Danach folgten der BWK 7 mit neun und der BWK 8 mit acht Frakturen. Bei Frauen brach der LWK 1 mit neun nachgewiesenen Frakturen am häufigsten. Danach folgten der LWK 2 und der BWK 7 mit jeweils sechs stattgehabten Frakturen. Bei den untersuchten männlichen Wirbelsäulen war ebenfalls der LWK 1 mit vier detektierten Frakturen am häufigsten betroffen. Danach folgten der BWK 7, 8 und 12 mit jeweils drei Frakturen. Oberhalb von BWK 5, speziell im HWS-Bereich fanden sich keine Frakturen. Einen Überblick über die ermittelten Frakturen in den unterschiedlichen Wirbelsäulenabschnitten gibt die **Abb. 3**.

Darüber hinaus ermittelten wir die Spongiosadichte in HE. Die Spongiosadichte war signifikant ( $p < 0,001$ ) höher in den zervikalen (188,58 HE im Median) als in den thorakalen (Median 88,17 HE), lumbalen (Median 63,64 HE) und sakralen (Median 25,52 HE) Wirbelkörpern aller untersuchten Wirbelsäulen. Eine Verteilung der mittervertebralen Spongiosadichte über die gesamten Wirbelsäulen zeigt

einen kontinuierlichen Dichteanstieg in Richtung der Halswirbelkörper (**Abb. 4**).

In einer Subgruppenanalyse wurden Männer und Frauen bezüglich der eingangs beschriebenen Parameter betrachtet. Unabhängig vom Geschlecht lagen in der HWS die höchsten HE vor (**Tab. 2; Abb. 4**). Hinsichtlich der ermittelten BMD zeigte sich eine signifikant höhere BMD in den Halswirbeln als in den Brust-, Lenden- und Sakralwirbeln (**Tab. 2; Abb. 4**).

Die ermittelten HE korrelieren signifikant mit der errechneter BMD ( $r = 1,000$ ,  $p < 0,001$ ).

### Diskussion

Die vorliegende Untersuchung ermöglicht den Vergleich von spongiösem Knochen aus allen Abschnitten der Wirbelsäule von 26 Körperspenden im Alter von 66–102 Jahren. Der BMI war in der Gesamtgruppe niedrig normal, ein BMI geringer als 22 kg/m<sup>2</sup> geht mit einer ansteigenden Frakturrate einher [27]. Zusammenhänge zwischen niedrigem Körpergewicht, niedrigem Fettanteil und einem höheren Frakturrisiko wurden mehrfach beschrieben [26, 27]. Alle untersuchten Probanden wiesen densitometrisch mit Knochenmineralgehaltswerten unter 80 mg/ml eine Osteoporose auf [18], wobei sich bei Werten unter 60 mg/ml obligat Sinterungsfrakturen fanden [3]. Der wichtigste Risikofaktor für diese Frakturen ist das hohe Alter der Patienten. Die Frakturaten steigen besonders im Alter über 70 Jahre [5]. Die Frakturen verteilten sich in typischer Weise auf die thorakolumbalen und lumbalen Abschnitte. Unterschiedliche Belastungen in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten spiegeln sich in der Frakturhäufigkeit wider. Die Frakturen traten vorrangig im mittleren Brustwirbelsäulenbereich (T7, T8) und im



**Tab. 2** Deskriptive Statistik der Computertomographie Parameter

Parameter	Gruppe	Wirbelsäulenabschnitt										Gruppenvergleich <sup>P</sup>					
		Gesamt Median (Q1-Q3)	HWS Median (Q1-Q3)	BWS Median (Q1-Q3)	LWS Median (Q1-Q3)	SWS Median (Q1-Q2)	HWS vs. BWS p-Wert (d)	HWS vs. LWS p-Wert (d)	HWS vs. SWS p-Wert (d)	BWS vs. LWS p-Wert (d)	BWS vs. SWS p-Wert (d)	LWS vs. SWS p-Wert (d)					
Hounsfield-Einheiten	Gesamt	84,88 (65,48-136,26)	188,58 (163,48-200,52)	88,17 (78,67-107,09)	63,64 (61,58-66,96)	25,52 (-8,35-25,52)	0,024 (0,55)	<0,001 (1,20)	0,001 (1,31)	0,024 (0,55)	0,026 (0,59)	0,554					
	Männer	99,44 (82,22-153,67)	202,67 (181,72-216,67)	101,83 (91,08-119,0)	72,89 (71,06-82,22)	29,94 (-8,11-29,94)	0,024 (0,55)	<0,001 (1,20)	0,001 (1,31)	0,024 (0,55)	0,026 (0,59)	0,554					
	Frauen	77,74 (60,76-127,04)	173,18 (153,82-195,94)	80,53 (71,46-101,51)	56,71 (54,68-61,65)	23,18 (-8,47-23,18)	0,024 (0,55)	<0,001 (1,22)	0,001 (1,28)	0,021 (0,56)	0,033 (0,57)	0,636					
Knochenmineralgehalt (mg/ml)	Gesamt	77,22 (63,64-113,18)	149,80 (132,24-158,16)	79,52 (72,87-92,76)	62,22 (60,90-64,67)	35,66 (11,96-35,66)	0,024 (0,55)	<0,001 (1,20)	0,001 (1,31)	0,024 (0,55)	0,026 (0,59)	0,554					
	Männer	87,41 (75,36-125,37)	159,67 (145,01-169,47)	89,08 (81,56-101,10)	68,82 (67,54-75,36)	38,76 (12,12-38,76)	0,024 (0,55)	<0,001 (1,20)	0,001 (1,31)	0,024 (0,55)	0,026 (0,59)	0,554					
	Frauen	72,21 (60,34-106,73)	139,02 (125,48-154,96)	74,17 (67,82-88,86)	57,49 (56,07-60,75)	34,02 (11,87-34,02)	0,024 (0,55)	<0,001 (1,22)	0,001 (1,28)	0,021 (0,56)	0,033 (0,57)	0,636					

Die Ergebnisse sind für nicht normalverteilte Parameter als Median mit Angabe des 1. und 3. Quartils (Q1-Q3) dargestellt  
HWS Halswirbelsäule, BWS Brustwirbelsäule, LWS Lendenwirbelsäule, SWS Sakralwirbelsäule, P paarweiser Vergleich

Übergangsbereich von Brustwirbelsäule zu Lendenwirbelsäule (T12 bis L1) auf [4, 15, 29]. Eine mögliche Erklärung für diese Frakturkaskade entlang der Wirbelsäule könnten die vorherrschenden Krümmungen der Wirbelsäule bieten [13]. So findet sich der Krümmungswendepunkt der Brustkyphose im mittleren Bereich der Brustwirbelsäule (T7, T8) wieder.

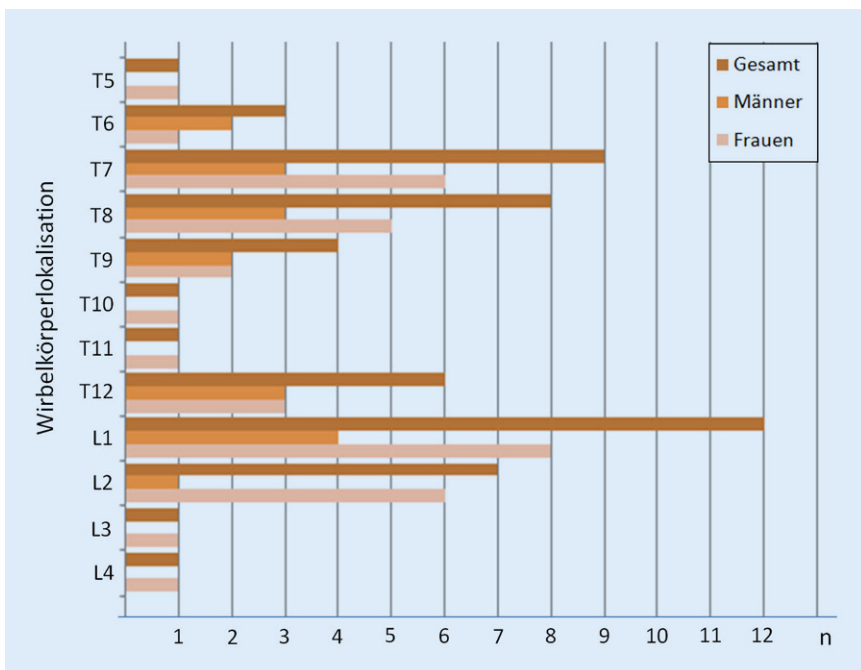
Es ist anzunehmen, dass lokale Veränderungen der Mikroarchitektur und Wirbelsäulenfunktion nachweisbar sind und eine Rolle spielen.

In der vorliegenden Untersuchung war der LWK 1 geschlechterunabhängig am häufigsten von einer Fraktur betroffen. Interessant ist, dass der LWK 1 mit 69,9 HE eine deutlich höhere Spongiosadichte aufweist als der LWK 4 mit 60,9 HE. Das lässt vermuten, dass neben der Spongiosadichte die oben genannten Faktoren eine wichtige Rolle bezüglich stattgehabter Frakturen spielen. Ermittlungen der HE von vollständigen Wirbelsäulen inklusive der Berechnung der dazugehörigen BMD sind bisher kaum erfolgt. Dabei stellen die HE einen normalisierten Index der Röntgenstrahlabschwächung basierend auf einer Skala von 1000 für Luft und 0 für Wasser dar. Der HE-Wert für Knochen liegt typischerweise zwischen 300 und 3000 [36]. Mithilfe der HE sind Aussagen über die Knochendichte möglich. Schreiber et al. [36] ermittelten eine signifikante Korrelation zwischen den T-Werten der DEXA-Messung und den HE des gleichen Wirbelkörpers.

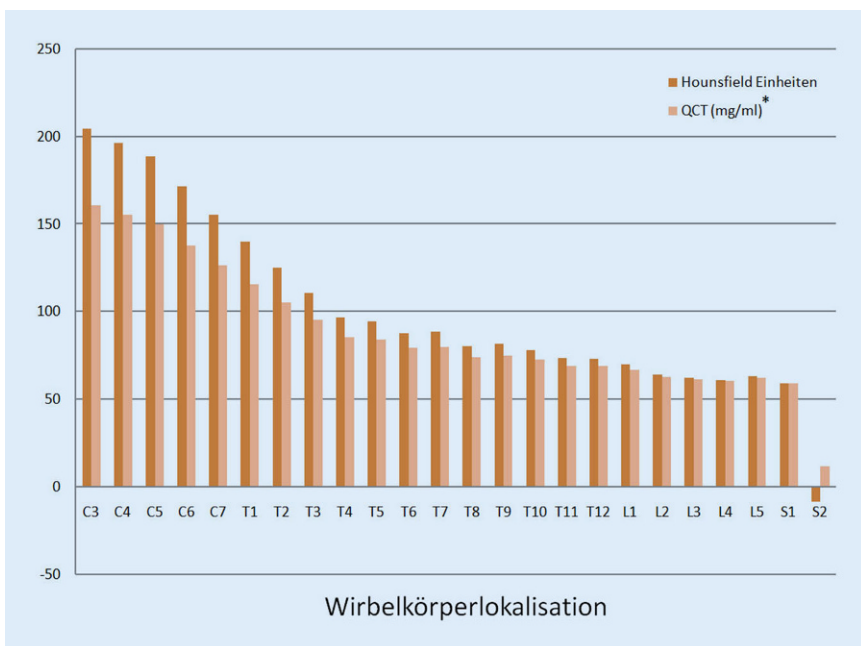
Choi et al. [12] sehen nach Abschluss ihrer Untersuchung neben der klaren Korrelation von HE und T-Wert bei Patienten mit degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen sogar einen Vorteil der HE-Bestimmung.

Die Messung der HE wäre einfach und damit eine opportunistische OPO-Diagnostik im Rahmen der häufigen CT-Untersuchungen.

DEXA-Messungen sind der Goldstandard in der OPO-Diagnostik und weltweit etabliert. Falsch hohe Werte können entstehen durch degenerative Veränderungen, Osteophyten, eine Osteochondrose, eine Skoliose und die vor der WS liegende eventuell verkalkte Aorta [31, 34]. Zudem können Positionierungsfehler zu Fehlinterpretationen führen [40]. Bei Verlaufsmessungen unter einer OPO-Therapie waren



**Abb. 3** ▲ Frakturanzahl in Abhängigkeit von Geschlecht und Wirbelkörperlokalisierung, oberhalb des Brustwirbelkörpers 5 und unterhalb des Lendenwirbelkörpers 4 wurden keine Frakturen diagnostiziert



**Abb. 4** ▲ Ermittelte Hounsfield-Einheiten und berechneter Knochenmineralgehalt (mg/ml) in Abhängigkeit von der Wirbelkörperlokalisierung

DEXA-Veränderungen an der Hüfte gesamt und am Schenkelhals prädiktiv für proximale Femur- und Wirbelkörperfrakturen. DEXA-Messungen an der Wirbelsäule waren nur für diesen Messort vorhersagend [8]. Eine differenzierte Betrachtung ist notwendig. Zumindest für die Wirbelkörper

könnte die HE-Messung eine Option im klinischen Alltag darstellen.

Welche HE sich als potenzieller Grenzwert für den Nachweis von Osteoporose eignet, ist Gegenstand der Forschung. Schreiber et al. [36] erhoben für Patienten mit Osteoporose im Mittel 78,5 HE. Bu-

ckens et al. [9] kamen am LWK 1 auf einen Grenzwert von 99 HE. Allerdings muss kritisch hinterfragt werden, ob von der Messung nur eines Wirbelkörpers auf einen generalisierten Knochenabbau geschlossen werden kann. Dementsprechend sehen Scheyerer et al. [35] die Erhebung der HE an mindestens drei verschiedenen Lendenwirbelkörpern als wichtig an. Nach Auffassung der Autoren ist dabei weniger bedeutend, welcher LWK gemessen wird, sondern vielmehr, dass er frei von degenerativen (z. B. subchondrale Sklerosierung), posttraumatischen oder postoperativen Veränderungen ist. In der vorliegenden Untersuchung wurden für die Abschätzung einer Osteoporose die HE von LWK 1 bis LWK 3 gemessen. Im Mittel ergab sich für die Gesamtgruppe ein Wert von 65,4 HE. Schwaiger et al. [39] konnten mit ihrer Untersuchung zeigen, dass ab 63,8 HE verstärkt Frakturen auftreten. Das deckt sich mit den Ergebnissen unserer Studie. Zudem lagen die HE der LWS bei Frauen (57,9 HE im Mittel) deutlich unter denen der Männer (75,9 HE im Mittel), was die höhere Anzahl der Frakturen in dieser Gruppe erklären könnte.

Interessant sind die Daten einer jüngst publizierten Übersichtsarbeit zu HE-Cutoff-Werten im Rahmen der OPO-Diagnostik [1]. In **Tab. 3** sind auszugsweise die Arbeiten von Berger-Groch et al. [6], Li et al. [28], Kim et al. [25], Pickhardt et al. [33] und Da Zou et al. [16] zusammengefasst. Ein Wert in der LWS von unter 136 HE sollte Beachtung finden. Zumeist wurde die LWS untersucht, auch Angaben zu HE-Werten der HWS liegen vor [14]. Eine vollständige Messreihe zu HE-Werten von C3 bis S1 wird von uns vorgelegt.

In der Untersuchung von Colantonio [14] wurden die HE-Werte der HWS mit DEXA-Messungen an der Hüfte verglichen und Grenzwerte für eine Osteoporose dargestellt. Dieser Aspekt ist von besonderem Interesse.

Hinsichtlich der Methodik der Messung der HE gab es bisher verschiedene Ansätze. Einige Autoren bestimmten die HE innerhalb des Wirbelkörpers in einer axialen Schicht im spongösen Knochen [33]. Andere Autoren bestimmten HE in den sagittalen Schichten der CT-Untersuchung [39]. Unterschiede in der Validität bestanden dabei allerdings keine.

Tab. 3 Cut-off-Werte Osteoporose in Abhängigkeit von Patientenalter und Wirbelkörperlokalisation								
Studiengruppe	Durchschnittsalter (Jahre)	HE-Cut-off-Werte						
		L1	L2	L3	L4	L5	S1	S2
Berger-Groch et al. [6]. 2020	72	–	–	–	< 62	< 58	< 68	–
Li et al. [28] 2018	67	< 136					–	–
Kim et al. [25] 2019	k. A.	≤ 95			–	–	–	–
Pickhardt et al. [33] 2013	59	135	–	–	–	–	–	–
Da Zou et al. [16] 2019	59	110	100	85	80	–	–	–

Auffällig ist in den Befunden insbesondere die signifikant höhere Knochendichte der Spongiosa der HWS im Vergleich zu der von BWS und LWS. Vergleichbare Ergebnisse sind in der Arbeit von Grote et al. [20] zu finden. Aufgrund der Ergebnisse ihrer histomorphometrischen Aufarbeitung der Knochenstruktur gehen sie davon aus, dass die Dichte des trabekulären Knochens in den Halswirbeln deutlich höher ist als im Bereich der Brust- und Lendenwirbel. Auch Schröder et al. [37] gelangten in ihrem Fallbericht sowie in einer ersten Pilotstudie [38] zu vergleichbaren Ergebnissen. In der vorliegenden Untersuchung unterschied sich die errechnete Knochendichte (BMD) in den einzelnen Wirbelsäulenabschnitten signifikant, wobei sich für die HWS die höchsten Werte ergaben. Grote et al. [20] zeigten mit ihrer Untersuchung, dass der Verlust an Knochenvolumen sogar im Altersgang in der HWS am geringsten ausfällt. So konnte bei den Halswirbeln 3 und 4 kein signifikanter altersbedingter Verlust der trabekulären Strukturdichte beobachtet werden. Dieser Befund deckt sich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung.

Die Belastungsfähigkeit eines Wirbelsäulenabschnitts hängt von den Materialeigenschaften des Wirbelkörpers und von seinen geometrischen Abmessungen ab. Da die Materialeigenschaften von Knochengewebe im weitesten Sinne vorgegeben sind, können die Abmessungen der Wirbelkörper als Resultat eines Anpassungsvorgangs an die von außen und innen einwirkenden Lasten angesehen werden (Körpergewicht, Muskelaktivität, Vorspannung der Bandstrukturen, extern applizierte Kräfte) [11].

Welche klinische Relevanz die vorgestellten Ergebnisse aufweisen, sollte in Folgestudien untersucht werden, denn bisher fehlten sichere Kriterien für die Versorgung der osteoporotischen Wirbelkörperfraktur.

Gängige Frakturklassifikationen ließen sich nicht oder nur eingeschränkt auf den älteren Menschen mit verminderter Knochenqualität und zahlreichen Komorbiditäten übertragen. Blattet et. al [7] empfehlen Augmentationstechniken mit Zement oder den Einsatz spezieller Schraubendesigns mit erhöhter Haltekraft im strukturschwachen Knochen. Dadurch vergrößert sich die Kontaktfläche zwischen Schraube und Knochen. Es lässt sich vor dem Hintergrund der vorgestellten Studienergebnisse vermuten, dass in Abhängigkeit von der Wirbelkörperlokalisation ein individuelles Schraubendesign vorteilhaft wirken kann.

### Limitationen

Bei der vorliegenden Studie handelt sich um eine vergleichende, deskriptive Untersuchung mit einer an das vorhandene Material gebundenen Fallanzahl. Komplexe statistische Verfahren konnten nur bedingt angewandt werden. Es wurden ausschließlich Körperspenden im höheren Lebensalter untersucht, Aussagen über die Knochenstruktur jüngerer Körperspenden sind daher nicht möglich. Gleichzeitig lagen kaum Angaben zu den jeweiligen Anamnesen der Spender vor, insbesondere zur Art und Dauer einer durchgeführten medikamentösen oder physikalischen Osteoporosebehandlung.

### Fazit für die Praxis

- Ein Verlust an Knochenmineralgehalt in der Wirbelkörperspongiosa führt zu einem erhöhten Frakturrisiko, welches sich auch bei den untersuchten Wirbelsäulen zeigte.
- Im zervikalen Bereich wird jedoch ein frakturkritischer Schwellenwert der spongiösen Knochendichte für das Auftreten von Sinterungsfrakturen, auch bei manifester Osteoporose, scheinbar nicht unterschritten.

- Bei klinischem Verdacht auf das Vorhandensein einer Osteopenie/Osteoporose können in CT-Untersuchungen von Thorax und Abdomen eine zusätzliche Dichtebestimmung (HE) im spongiösen Wirbelsäulenbereich weitere Hinweise liefern.

### Korrespondenzadresse

**Dr. med. Dr. rer. hum. Guido Schröder**  
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie,  
Warnow Klinik Bützow  
Am Forsthof 3, 18246 Bützow, Deutschland  
guido.schroeder1@gmx.net

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** G. Schröder, D. Flachsmeier, C.M. Kullen, J.R. Andresen, M. Schulze, L. Hiepe, H.-C. Schober und R. Andresen geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

**Open Access.** Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

## Literatur

- Ahern DP, McDonnell JM, Riffault M, Evans S, Wagner SC, Vaccaro AR, Hoey DA, Butler JS (2021) A meta-analysis of the diagnostic accuracy of Hounsfield units on computed tomography relative to dual-energy X-ray absorptiometry for the diagnosis of osteoporosis in the spine surgery population. *Spine J* 21(10):1738–1749. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2021.03.008>
- Andresen R, Radmer S, Banzer D, Felsenberg D, Wolf KJ (1994) The quantitative determination of bone mineral content—a system comparison of similarly built computed tomographs. *RoFo* 160(3):260–265. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1032417>
- Andresen R, Radmer S, Banzer D (1998) Bone mineral density and spongiosa architecture in correlation to vertebral body insufficiency fractures. *Acta Radiol* 39(5):538–542
- Banzer D, Fabian C, Andresen R, Banzer J-P, Felsenberg D, Reisinger W, Neher K-M (1998) Bone density of spongiosa and cortical bone of the lumbar spine. Relations to sex, age and spinal deformities in a regional collective of the European Study of Vertebral Osteoporosis (EVOS). *Med Klin* 93(52):56–65. <https://doi.org/10.1007/BF03042000>
- Bassgen K, Westphal T, Haar P, Kundt G, Mittlmeier T, Schober H-C (2013) Population-based prospective study on the incidence of osteoporosis-associated fractures in a German population of 200 413 inhabitants. *J Public Health* 35(2):255–261. <https://doi.org/10.1093/pubmed/dfs076>
- Berger-Groch J, Thiesen DM, Ntalos D, Hennes F, Hartel MJ (2020) Assessment of bone quality at the lumbar and sacral spine using CT scans: a retrospective feasibility study in 50 comparing CT and DXA data. *Eur Spine J* 29(5):1098–1104. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06292-z>
- Blattert TR, Schnake KJ, Gonschorek O, Gercek E, Hartmann F, Katscher S, Mörk S, Morrison R, Müller M, Partenheimer A, Piltz S, Scherer MA, Ullrich BW, Verheyden A, Zimmermann V (2018) 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* 8(2 Suppl):50S–55S. <https://doi.org/10.1177/2192568217745823>
- Bouxsein ML, Eastell R, Lui L-Y, Wu LA, de Papp AE, Grauer A, Marin F, Cauley JA, Bauer DC, Black DM (2019) Change in bone density and reduction in fracture risk: a meta-regression of published trials. *J Bone Miner Res* 34(4):632–642. <https://doi.org/10.1002/jbmr.3641>
- Buckens CF, Dijkhuis G, de Keizer B, Verhaar HJ, de Jong PA (2015) Opportunistic screening for osteoporosis on routine computed tomography? An external validation study. *Eur Radiol* 25(7):2074–2079. <https://doi.org/10.1007/s00330-014-3584-0>
- Buenger F, Eckardt N, Sakr Y, Senft C, Schwarz F (2021) Correlation of bone density values of quantitative computed tomography and hounsfield units measured in native computed tomography in 902 vertebral bodies. *World Neurosurg* 151(2 suppl 1):e599–e606. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2021.04.093>
- Bühren V, Josten C (2013) Chirurgie der verletzten Wirbelsäule. Frakturen, Instabilitäten, Deformitäten. Springer, Berlin, Heidelberg
- Choi MK, Kim SM, Lim JK (2016) Diagnostic efficacy of Hounsfield units in spine CT for the assessment of real bone mineral density of degenerative spine. Correlation study between T-scores determined by DEXA scan and Hounsfield units from CT. *Acta Neurochir* 158(7):1421–1427. <https://doi.org/10.1007/s00701-016-2821-5>
- Christiansen BA, Bouxsein ML (2010) Biomechanics of vertebral fractures and the vertebral fracture cascade. *Curr Osteoporos Rep* 8(4):198–204. <https://doi.org/10.1007/s11914-010-0031-2>
- Colantonio DF, Saxena SK, Vanier A, Rodkey D, Tintle S, Wagner SC (2020) Cervical spine computed tomography Hounsfield units accurately predict low bone mineral density of the femoral neck. *Clin Spine Surg* 33(2):E58–E62. <https://doi.org/10.1097/BSD.0000000000000879>
- Crilly RG, Cox L (2013) A comparison of bone density and bone morphology between patients presenting with hip fractures, spinal fractures or a combination of the two. *BMC Musculoskelet Disord* 14:68. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-68>
- Da Zou LW, Deng C, Du G, Xu N (2019) The use of CT Hounsfield unit values to identify the undiagnosed spinal osteoporosis in patients with lumbar degenerative diseases. *Eur Spine J* 28(8):1758–1766. <https://doi.org/10.1007/s00586-018-5776-9>
- Damilakis J, Maris TG, Karantanas AH (2007) An update on the assessment of osteoporosis using radiologic techniques. *Eur Radiol* 17(6):1591–1602. <https://doi.org/10.1007/s00330-006-0511-z>
- Engelke K, Adams JE, Armbrecht G, Augat P, Bogado CE, Bouxsein ML, Felsenberg D, Ito M, Prevhal S, Hans DB, Lewiecki EM (2008) 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* 11(1):123–162
- Genant HK, Wu CY, van Kuijk C, Nevitt MC (1993) Vertebral fracture assessment using a semiquantitative technique. *J Bone Miner Res* 8(9):1137–1148
- Grote HJ, Amling M, Vogel M, Hahn M, Posl M, Delling G (1995) Intervertebral variation in trabecular microarchitecture throughout the normal spine in relation to age. *Bone* 16(3):301–308
- Hadji P, Klein S, Gothe H, Häussler B, Kless T, Schmidt T, Steinle T, Verheyden F, Linder R (2013) The epidemiology of osteoporosis. *Dtsch Arztebl Int*. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2013.0052>
- Häussler B, Gothe H, Göll D, Glaeske G, Pientka L, Felsenberg D (2007) Epidemiology, treatment and costs of osteoporosis in Germany—the BoneEVA study. *Osteoporos Int* 18(1):77–84. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0206-y>
- Johnell O, Kanis JA (2006) An estimate of the worldwide prevalence and disability associated with osteoporotic fractures. *Osteoporos Int* 17(12):1726–1733. <https://doi.org/10.1007/s00198-006-0172-4>
- Kanis JA, Norton N, Harvey NC, Jacobson T, Johansson H, Lorentzon M, McCloskey EV, Willers C, Borgström F (2021) SCOPE 2021: a new scorecard for osteoporosis in Europe. *Arch Osteoporos* 16(1):82. <https://doi.org/10.1007/s11657-020-00871-9>
- Kim KJ, Kim DH, Lee JJ, Choi BK, Han IH, Nam KH (2019) Hounsfield units on lumbar computed tomography for predicting regional bone mineral density. *Open Med (Wars)* 14:545–551. <https://doi.org/10.1515/med-2019-0061>
- Lacombe J, Cairns BJ, Green J, Reeves GK, Beral V, Armstrong MEG (2016) The effects of age, adiposity, and physical activity on the risk of seven site-specific fractures in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 31(8):1559–1568. <https://doi.org/10.1002/jbmr.2826>
- de Laet C, Kanis JA, Odén A, Johanson H, Johnell O, Delmas P, Eisman JA, Kroger H, Fujiwara S, Garnero P, McCloskey EV, Mellstrom D, Melton LJ, Meunier PJ, Pols HAP, Reeve J, Silman A, Tenenhouse A (2005) Body mass index as a predictor of fracture risk. A meta-analysis. *Osteoporos Int* 16(11):1330–1338. <https://doi.org/10.1007/s00198-005-1863-y>
- Li Y-L, Wong K-H, Law MW-M, Fang BX-H, Lau VW-H, Vardhanabuti VV, Lee VK-H, Cheng AK-C, Ho W-Y, Lam WW-M (2018) Opportunistic screening for osteoporosis in abdominal computed tomography for Chinese population. *Arch Osteoporos* 13(1):76. <https://doi.org/10.1007/s11657-018-0492-y>
- Möller G, Andresen R, Banzer D (2011) Shape model-based semi-automatic morphometric assessment of vertebral deformities in clinical practice. *Osteologie* 20(03):239–247
- Oleksik A, Lips P, Dawson A, Minshall ME, Shen W, Cooper C, Kanis J (2000) Health-related quality of life in postmenopausal women with low BMD with or without prevalent vertebral fractures. *J Bone Miner Res* 15(7):1384–1392. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2000.15.7.1384>
- Pappou IP, Girardi FP, Sandhu HS, Parvataneni HK, Cammisa FP, Schneider R, Frelinghuysen P, Lane JM (2006) Discordantly high spinal bone mineral density values in patients with adult lumbar scoliosis. *Spine* 31(14):1614–1620. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000222030.32171.5f>
- Pfeifer M, Hinz C, Gehlen M (2021) Therapie der Osteoporose. Entsprechend den derzeit gültigen Leitlinien. *Arzneimitteltherapie* 39:337–345
- Pickhardt P, Pooler BD, Lauder T, del Rio AM, Bruce RJ, Binkley N (2013) Opportunistic screening for osteoporosis using abdominal computed tomography scans obtained for other indications. *Ann Intern Med* 158(8):588. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-158-8-201304160-00003>
- Rand T, Seidl G, Kainberger F, Resch A, Hittmair K, Schneider B, Glüer CC, Imhof H (1997) Impact of spinal degenerative changes on the evaluation of bone mineral density with dual energy X-ray absorptiometry (DXA). *Calcif Tissue Int* 60(5):430–433. <https://doi.org/10.1007/s002239900258>
- Scheyerer MJ, Ullrich B, Osterhoff G, Spiegl UA, Schnake KJ (2019) „Hounsfield units“ als Maß für die Knochendichte – Anwendungsmöglichkeiten in der Wirbelsäulenchirurgie. *Unfallchirurg* 122(8):654–661. <https://doi.org/10.1007/s00113-019-0658-0>
- Schreiber JJ, Anderson PA, Rosas HG, Buchholz AL, Au AG (2011) Hounsfield units for assessing bone mineral density and strength. A tool for osteoporosis management. *J Bone Joint Surg Am* 93(11):1057–1063. <https://doi.org/10.2106/JBJS.J.00160>
- Schröder G, Wendig D, Jabke B, Schulze M, Wree A, Kundt G, Manhart J, Martin H, Sahmel O, Andresen R, Schober H-C (2019) Vergleich der Spongiosamorphologie aus humaner Halswirbelsäule (HWS), Brustwirbelsäule (BWS) und Lendenwirbelsäule (LWS) einer 102-jährigen Körperpenderin. *Osteologie* 28(04):283–288. <https://doi.org/10.1055/a-0997-8059>
- Schröder G, Jabke B, Schulze M, Wree A, Martin H, Sahmel O, Doerell A, Kullen CM, Andresen R, Schober H-C (2021) A comparison, using X-ray micro-computed tomography, of the architecture of cancellous bone from the cervical, thoracic and



- lumbar spine using 240 vertebral bodies from 10 body donors. *Anat Cell Biol* 54(1):25–34
39. Schwaiger BJ, Gersing AS, Baum T, Noel PB, Zimmer C, Bauer JS (2014) Bone mineral density values derived from routine lumbar spine multidetector row CT predict osteoporotic vertebral fractures and screw loosening. *AJNR Am J Neuroradiol* 35(8):1628–1633. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3893>
40. Watts NB (2004) Fundamentals and pitfalls of bone densitometry using dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). *Osteoporos Int* 15(11):847–854. <https://doi.org/10.1007/s00198-004-1681-7>

## Insufficiency fractures of the spine in relation to cancellous bone density. An in vitro study

**Background:** The risk of osteoporotic insufficiency fractures (Fx) at the axial skeleton increases with decreasing bone density, with an accumulation in the thoracic and thoracolumbar regions. To better understand the differential distribution of Fx along the spine, morphological and osteodensitometric studies were performed by computed tomography (CT) in the various spine sections. In addition, we aimed to clarify whether Hounsfield units (HU) found on CT examinations from other indications correlate with bone density and could be grounds for osteologic diagnosis.

**Material and methods:** The entire spines of 26 body donors were fixed in a Plexiglas water phantom and analyzed by high-resolution spiral CT. In addition, CT morphological cancellous bone density was measured in HU from C3 to S2 (624 vertebral bodies). Bone mineral density (BMD, mg/ml) was calculated and used to estimate osteoporosis (OPO).

**Results:** OPO was present in all spines. Significantly increased sintering fractures were found in the thoracic and thoracolumbar regions when BMD was below 60 mg/ml. Fx in the cervical spine area were not found overall. Cancellous bone density was significantly higher in the cervical (median 188.6 HU) than in the lumbar (median 63.6 HU) and sacral (median 25.5 HU) spine.

**Discussion:** BMD loss of vertebral body cancellous bone leads to an increased risk of Fx, which is also found in the cadaver spines. However, an apparent threshold for the occurrence of sintering fractures is not undercut in the cervical region. Finding a threshold for HU would be relevant to clinical practice.

### Keywords

Bone mineral density · Computed tomography · Corpse · Osteoporosis · Vertebral body