

Journal für
Mineralstoffwechsel

Zeitschrift für Knochen- und Gelenkerkrankungen

Orthopädie • Osteologie • Rheumatologie

**Klinische Anwendung der
Densitometrie**

Grampp S

*Journal für Mineralstoffwechsel &
Muskuloskelettale Erkrankungen*

2002; 9 (4), 16-21

Homepage:

**[www.kup.at/
mineralstoffwechsel](http://www.kup.at/mineralstoffwechsel)**

**Online-Datenbank mit
Autoren- und Stichwortsuche**

Member of the



Indexed in SCOPUS/EMBASE/Excerpta Medica
www.kup.at/mineralstoffwechsel



Offizielles Organ der
Österreichischen Gesellschaft
zur Erforschung des Knochens
und Mineralstoffwechsels



Österreichische Gesellschaft
für Orthopädie und
Orthopädische Chirurgie



Österreichische
Gesellschaft
für Rheumatologie

Krause & Pachernegg GmbH · VERLAG für MEDIZIN und WIRTSCHAFT · A-3003 Gablitz

P.b.b. GZ02Z031108M, Verlagspostamt: 3002 Purkersdorf, Erscheinungsort: 3003 Gablitz

Erschaffen Sie sich Ihre ertragreiche grüne Oase in Ihrem Zuhause oder in Ihrer Praxis

Mehr als nur eine Dekoration:

- Sie wollen das Besondere?
- Sie möchten Ihre eigenen Salate, Kräuter und auch Ihr Gemüse ernten?
- Frisch, reif, ungespritzt und voller Geschmack?
- Ohne Vorkenntnisse und ganz ohne grünen Daumen?

Dann sind Sie hier richtig



KLINISCHE ANWENDUNG DER DENSITOMETRIE

Summary

An early diagnosis of osteoporosis and an accurate estimation of treatment outcome are focus of the radiological efforts. The most commonly applied methods are dual x-ray absorptiometry and quantitative computed tomography, which are together with conventional radiographs the basic diagnostic modalities. Acquired data of an individual patient are generally compared to an age-, sex-, and ethnically-matched control population. The bone mass

measurement predicts a patients' future risk of fracture and the presence of osteoporosis can be diagnosed even in the absence of prevalent fractures. The choice of the appropriate measurement sites may vary depending on the specific circumstances of the individual patient. The choice of the appropriate basic and additive technique in any given clinical circumstance should be based on the knowledge of their strength and limitations.

KURZFASSUNG

Eine frühe Diagnose der Osteoporose und eine genaue Messung von Behandlungserfolgen stehen im Mittelpunkt der radiologischen Bestrebungen. Die häufigsten klinisch angewendeten Methoden, um das periphere Skelett sowie das Achsen skelett zu beurteilen, sind die Zwei-Spektren-Röntgenabsorptiometrie (DXA = dual x-ray absorptiometry) und die quantitative Computertomographie (QCT), die zusammen mit den konventionellen Röntgenaufnahmen die sogenannten Standardverfahren darstellen. Generell werden die Meßergebnisse eines Individuums mit einer alters-, geschlechts- und rassenspezifischen Kontrollgruppe verglichen. In diesem Zusammenhang ist die Bestimmung der Knochenmasse ein Indikator des künftigen Frakturrisikos eines Patienten. Die radiologische Diagnose der Osteoporose kann durch die Bestimmung der Knochenmasse erfolgen, auch wenn keine prävalenten Frakturen vorliegen. Die Wahl des Meßortes und der Untersuchungstechnik zur Bestimmung der Knochenmasse oder des Frakturrisikos muß sich nach individuellen Gegebenheiten am Patienten sowie den Stärken und Limitationen der verschiedenen Techniken richten.

EINLEITUNG

Osteoporose wird definiert als eine Abnahme der Knochenmasse, einhergehend mit strukturell-architektonischen Veränderungen, deren Zusammenwirken eine Minderung von Knochenstabilität und Belastbarkeit und somit den Anstieg der Frakturwahrscheinlichkeit und Häufigkeit bedingt. Die Knochenfestigkeit basiert auch auf verschiedenen weiteren Faktoren wie Struktur, Größe, Beschaffenheit des Knochenmarks, Elastizität und der Regenerations- oder Heilungsfähigkeit. Die Masse und Dichte sowie der elastische Modulus korrelieren eng miteinander und stehen mit dem trabekulären Netzwerk in engem Zusammenhang. Diese Größen bestimmen an sich die biomechanischen Eigenschaften des trabekulären Knochens [1–5]. In diesem Zusammenhang ist die mit radiologischen Methoden bestimmte Knochenmineraldichte (KMD) das Leitkriterium zur Abschätzung der Knochenbrüchigkeit und somit des Frakturrisikos [6–9]. Die Inzidenz von Frakturen ist in den letzten Jahrzehnten durch die erhöhte Lebenserwartung deutlich angestiegen [10]. Eine frühe Diagnose der Osteoporose und eine genaue Messung von Behandlungserfolgen stehen im Mittelpunkt der radiologischen und wissen-

schaftlichen Bestrebungen. Knochen, die hauptsächlich aus trabekulären Strukturen bestehen, sind generell die bevorzugten Meßorte [8, 11–16]. Das beruht auf der Tatsache, daß der trabekuläre Knochen etwa 8-mal schneller auf metabolische Stimuli reagieren kann als der kortikale. Konsekutiv sind dann Änderungen der Knochenmasse in diesen Arealen am ehesten erkenn- und meßbar. Ein weiterer Aspekt ist, daß die Frakturunzidenz in Knochen, die zum wesentlichen Teil aus trabekulären Anteilen bestehen, am höchsten ist [17, 18]. Es ist – wie in den anderen Kapiteln dieses Heftes im Detail erläutert – technisch möglich, das periphere ebenso wie das Achsen skelett zu untersuchen und sowohl den trabekulären als auch den kortikalen Knochen zu messen [8, 11, 15].

Am Anfang einer diagnostischen Abklärung steht praktisch immer eine konventionelle Röntgenuntersuchung. Knochendichtemessungen eines Individuums werden stets mit einer alters-, geschlechts- und rassenspezifischen Kontrollgruppe verglichen, denn die Knochendichte nimmt mit dem Alter ab und es existieren signifikante Unterschiede zwischen den Geschlechtern und Menschenrassen. Eine normative Datenbank, wie sie von praktisch allen Herstellern in die Software ihrer Systeme integriert wurde, ist zur Interpretation der Ergebnisse notwendig (Abb. 1). Gewöhnlich wird die Knochendichte als T-score und als Z-score angegeben.

Der T-score bezieht sich auf die Spitzenknochenmasse junger Erwachsener und wird analog dem Z-score berechnet. Der Z-score zeigt die Patientenergebnisse als Abweichung von einer altersentsprechenden Kontrollgruppe, geteilt durch die Standardabweichung dieses Mittelwertes. Diese Standardabweichung ist ein Maß für die biologische Variabilität. Diese Einteilungen sind hilfreich für die Abschätzung des Frakturrisikos. Eines der Grundprinzipien dieses Ansatzes ist, daß die Prävention osteoporoti-

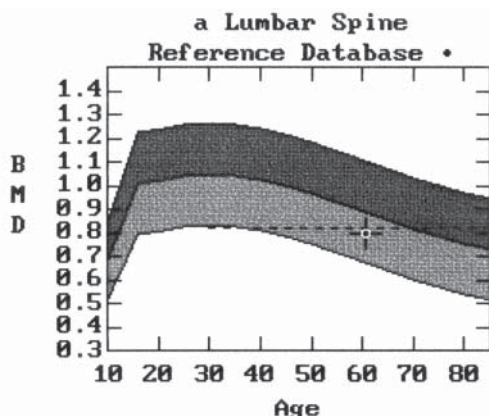
scher Frakturen die Morbidität und die Mortalität verringert und sekundär Kosten im Gesundheitswesen einsparen kann.

Zur adäquaten Prävention müssen Patienten, die ein hohes Frakturrisiko haben und noch keine Frakturen hatten, identifiziert werden. Das hat auch verschiedene klinische Gründe. Einerseits haben asymptomatische Personen mit herabgesetzter Knochenmasse ein erhöhtes Frakturrisiko im Vergleich zu normalen Personen. Andererseits können bei Personen

mit einer verringerten Knochenmasse häufig Ursachen für diese Verminderung gefunden werden, die nicht allein auf ein höheres Lebensalter und einen inaktiven Lebensstil zurückzuführen sind. Wenn Risikopatienten identifiziert sind und eine angemessene Therapie durchgeführt wird, kann ein weiterer Verlust an Knochenmasse verhindert werden [19–22]. Falls diese Personen nicht erkannt werden, würde der Knochenmassenverlust ungehindert fortfahren. Diese Prinzipien können nicht in analoger Weise auf Kinder übertragen werden.

In dieser Patientengruppe sind Messungen meist nur bei ausgewählten Indikationen wie Fehlernährung, Anorexia nervosa und Tumorthherapie hilfreich [23–26]. Die Verwendung des T-scores für Patienten unter 18–20 Jahren ist nicht sinnvoll. In dieser Gruppe wird der Z-score zum altersentsprechenden Vergleich verwendet. Einige Hersteller geben dazu in ihren Datenbanken die Normdaten vom Geburtsalter beginnend an (Abb. 2). Im Hinblick auf die Interpretation, Wertigkeit und Anwendungsmöglichkeiten der Meßtechni-

Abbildung 1: Normative Daten für die BMD der LWS (L1–L4; PA) in der weiblichen Population. Das Alter ist auf der x-Achse aufgetragen, die BMD auf der y-Achse. Die Spitzenknochenmasse wird in der dritten Dekade erreicht und nimmt dann mit fortschreitendem Alter ab. Die darunterstehende Tabelle zeigt die BMD (in g/cm²) einer individuellen Messung mit den T- und Z-Werten. Ein Punkt auf der Grafik zeigt den Wert an.



Region	BMD	T(30.0)	Z
L1	0.635	-2.63 69%	-1.34 81%
L2	0.778	-2.27 76%	-0.84 89%
L3	0.853	-2.10 79%	-0.59 93%
L4	0.855	-2.37 77%	-0.81 91%
L1-L4	0.793	-2.31 76%	-0.85 89%

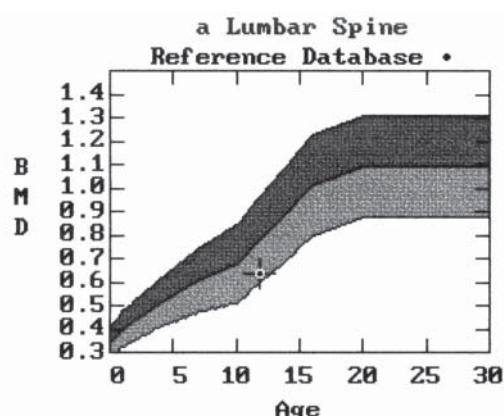
• Age and sex matched

T = peak bone mass

Z = age matched

TK 04 Nov 91

Abbildung 2: Normative Daten für die BMD der LWS (L1–L4; PA) für Jungen. Das Alter ist auf der x-Achse aufgetragen, die BMD auf der y-Achse. Die darunterstehende Tabelle zeigt die BMD (in g/cm²) einer individuellen Messung mit den T- und Z-Werten. Ein Punkt auf der Grafik zeigt den Wert an.



Region	BMD	T(30.0)	Z
L1	0.591	-3.79 59%	
L2	0.646	-4.08 59%	
L3	0.678	-3.86 61%	
L4	0.610	-4.86 53%	
L1-L4	0.631	-4.18 58%	-1.59 81%

• Age and sex matched

T = peak bone mass

Z = age matched

TK 04 Nov 91

ken stellt der Artikel „Consensus of an international panel on the clinical utility of bone mass measurements in the detection of low bone mass in the adult population“ von Miller et al. [9] eine gute Leitlinie für die Praxis dar. Die wichtigsten Punkte werden in den nächsten Abschnitten aufgegriffen.

MESSUNG DER KNOCHENMASSE

Wie erwähnt stellt die Messung der Knochenmasse einen Indikator für das künftige Frakturrisiko eines Patienten dar. In diesem Zusammenhang ist die *Knochendensitometrie* die einzige direkte und objektive Methode zur genauen Bestimmung der Knochenmasse und Risikoabschätzung. Der Beginn einer Therapie ohne eine initiale Messung ist eher unwahrscheinlich. Die Entscheidung zu einer Therapie sollte nicht nur vom radiologischen Befund, sondern auch vom Alter und der Anamnese sowie anderen klinischen Daten abhängen. Eine radiologische Diagnose kann auch ohne prävalente Frakturen gestellt werden. Das zugrundeliegende Konzept beruht auf der bekannten Beziehung zwischen Knochendichte und Frakturrisiko. Das Frakturrisiko steigt um den Faktor 1,5–2,5 für jede Standardabweichung, die der T-score unter der Norm liegt [6, 20, 21, 27]. Ein T-score von –1 verdoppelt also das Frakturrisiko, ein T-score von –2 erhöht es auf das 4-fache und ein T-score von –3 erhöht es auf das 8-fache. Die WHO spricht von einer Osteoporose bei weißen Frauen, die noch keine Fraktur erlitten hatten, wenn der Meßwert mehr als 2,5 Standardabweichungen unter der Spitzenknochenmasse liegt (T-score) [28]. 95 % der Patienten, die eine Fraktur erleiden werden, liegen unter diesem Wert. Darüber hinaus ist es auch wichtig, Individuen zu identifizieren, die bis dato noch keine derartig schwere Verminderung der Knochenmasse erlitten haben, deren Frakturrisiko jedoch auch schon er-

höht ist. Diese Patientengruppe wird als osteopenisch bezeichnet. Hier liegen die Werte des T-scores zwischen –1,0 und –2,5. Diese Werte mögen nicht in allen Fällen bereits zur Einleitung einer Therapie führen; diese Personen sollten jedoch in den folgenden Jahren unter ärztlicher Kontrolle bleiben. Laut WHO-Definition sollte die Diagnose durch eine Messung an der LWS oder am proximalen Femur gestellt werden. Dies sind die beiden Orte, wo osteoporotische Frakturen am häufigsten vorkommen. Wie erwähnt, ist die Verwendung des T-scores nur für Frauen empfohlen. Das Prinzip wird aber, aus Ermangelung offizieller Empfehlungen, meist auch bei männlichen Patienten angewendet [29–31].

Die Bestimmung der Knochenmasse stellt insgesamt einen der Hauptfaktoren für das Patientenmanagement dar. Es wurden verschiedene klinische Standardsituationen postuliert, in der das Wissen um die Knochenmasse und das Frakturrisiko das Prozedere wesentlich entscheiden:

- Frauen über 50 mit Risikofaktoren für eine Osteoporose
- Frauen über 65 (auch ohne zusätzliche Risikofaktoren)
- Krankheiten mit einem bekannten hohen Verlust an Knochenmasse
- lange andauernde Therapie mit Medikamenten, die einen Knochenmassenverlust bewirken können (v. a. Kortikosteroide)
- Östrogenmangel
- Verdacht des Knochenmassenverlustes auf konventionellen Röntgenaufnahmen
- primärer Hyperparathyreoidismus
- Z. n. Wirbelkörper-, Femur- oder Radiusfraktur oder nach jeder anderen Fraktur ohne adäquates Trauma

Der Meßort und die Methode sollen gemäß den individuellen Gegebenheiten des einzelnen Patienten ausgewählt werden. Die Densitometrie wird häufig durchgeführt, um den Knochenverlust, der auf konventionellen Röntgenaufnahmen diagnosti-

ziert wurde, zu quantifizieren. In diesem Fall ist es sinnvoll, die suspekten Körperregion zu messen, falls das möglich ist.

Die meisten Frakturen ereignen sich an der lumbalen Wirbelsäule und am proximalen Femur. Deshalb werden diese Stellen auch als Basismeßorte empfohlen [32]. Da die Femurfrakturen die schwerwiegendsten Konsequenzen im Vergleich zu den anderen Frakturlokalisationen in Hinsicht auf Mortalität und Letalität mit sich bringen, wird dieser Ort als der klinisch wichtigste angesehen [2, 33–35]. Bei älteren Patienten (> 65 Jahre) wird die Messung der LWS mit der DXA häufig in signifikanter Weise durch mitgemessene degenerative Wirbelveränderungen fälschlich erhöht [36–38]. In diesen Fällen kann alternativ die richtige Diagnose mit der QCT der LWS oder der DXA des proximalen Femurs gestellt werden. Wie erwähnt, beruht das grundlegende Konzept der verschiedenen Messungen auf dem Wunsch, das Frakturrisiko eines Individuums einschätzen zu können. Zur Bestimmung des globalen skelettalen Frakturrisikos haben praktisch alle Meßorte (Wirbelsäule, Femur, distaler Radius, Calcaneus) und verfügbaren Techniken eine vergleichbare statistische Signifikanz [20, 27, 39]. Das spezifische Risiko für einen spezifischen Ort kann jedoch am besten durch eine Messung genau dieses Ortes berechnet werden. Sollten Messungen an der Wirbelsäule oder am Femur bereits ein erhöhtes Frakturrisiko ergeben, so ist die radiologische Diagnose bereits etabliert und weitere Messungen sind an sich nicht mehr unbedingt notwendig.

MESSTECHNIKEN

In der täglichen Praxis wird die Wahl der Techniken neben ihrer realen Verfügbarkeit auch wesentlich von der Kenntnis ihrer Begrenzungen und Vorteile abhängen. In zahlreichen

Studien wurde die höchste diagnostische Sensitivität zur Erkennung eines Knochenmassenverlustes für die QCT der LWS bestätigt [13, 38, 40–45]. Die Messungen an peripheren Orten zeigen meist auch die höchste Sensitivität in bezug auf das lokale Frakturrisiko [6, 12]. Die Wahl der richtigen Technik beruht also auf der Information, die erlangt werden soll und auf eventuellen pathologischen Veränderungen am Patienten. Kriterien sind hier das Röntgenbild und die Patientengeschichte (verheilte Frakturen, M. Sudeck, Implantate, degenerative Veränderungen).

Die richtige Entscheidung in Hinsicht auf den Meßort und die Methode steht im Mittelpunkt der radiologischen Bemühungen. Derzeit stellt die DXA die relevanteste Meßmethode dar. Sie hat kurze Untersuchungszeiten, überschaubare Kosten und eine geringe Strahlenexposition. Nach einem initialen Röntgenbild sollte grundsätzlich eine DXA an der LWS (bei allen Patienten bis zum 65. Lebensjahr ohne signifikante degenerative Wirbelsäulenveränderungen) und/oder des proximalen Femurs (über 65 Jahre und mit signifikanten Wirbelsäulenveränderungen) erfolgen.

Bei speziellen Fragestellungen oder wenn lediglich ein CT-Gerät zur Verfügung steht, sollte eine QCT der LWS als primäre Untersuchung durchgeführt werden [41]. Neben den Standardmessungen an der LWS und am Femur gibt es zahlreiche weitere Methoden zur Abschätzung des skelettalen Status an peripheren Orten [8]. Diese werden derzeit als sog. additive Meßverfahren betrachtet. Die alleinige Messung eines peripheren Knochens wie zum Beispiel an der Fingerphalanx, dem Fersenbein oder am Radius sollte nicht zur Diagnosestellung im Hinblick auf eine Therapieentscheidung verwendet werden. In den letzten Jahren beschäftigten sich zahlreiche Studien mit der Aufgabe, die genaueste, billigste und am leichtesten anwendbare Methode zur Osteoporosediagno-

stik zu finden [8, 29, 46]. In diesem Zusammenhang stand der quantitative Ultraschall – hauptsächlich am Fersenbein – im Zentrum der wissenschaftlichen Diskussion. Die Methode ist jedoch als alleinige Messung zur Feststellung des skelettalen Status eines Individuums nicht geeignet [29, 31]. Als weiterer Schritt wurde jedoch gezeigt [30], daß der quantitative Ultraschall am Fersenbein wahrscheinlich erfolgreich im Screening oder Pre-Screening verwendet werden kann. Werden potentielle Risikopersonen mit dieser Methode erkannt, so sollen diese zur weiteren Abklärung einer der Standardmethoden zugeführt werden.

Standardmethoden zur Abklärung einer Osteoporose sind:

- Quantitative Computertomographie der LWS [14, 15, 40, 42]
- Zwei Spektren-Absorptiometrie (dual x-ray absorptiometry = DXA) der LWS und des proximalen Femur [14, 42, 47]
- Konventionelle Röntgenbilder [41, 48]

Additive Methoden, die für spezielle Anwendungen oder zur Nachkontrolle verwendet werden sollen (nicht zur primären Diagnosestellung), sind:

- Periphere Computertomographie am Radius oder anderen Orten [15, 49]
- DXA am Radius und gesamten Körper [50–52]
- Quantitativer Ultraschall des Fersenbeines, der Phalangen und anderer Meßorte [30, 31, 53, 54]
- Kernspintomographie trabekulärer Strukturen [55]
- DXA-Morphometrie der Wirbelsäule [56]

quantitativen Standardmethoden (DXA, QCT) haben Präzisionsfehler von etwa 1–3 % [8]. Der durchschnittliche Verlust an Knochenmasse bei gesunden postmenopausalen Frauen liegt – je nach Meßort und Methode – zwischen 0,2 und 1,2 % pro Jahr [13]. Der Unterschied zwischen zwei Untersuchungen muß größer als das 2,8-fache des Präzisionsfehlers sein, um ein signifikantes Niveau zu erreichen [57]. Die physiologischen jährlichen Abnahmen sind also im Vergleich zu den notwendigen Änderungen relativ klein [58]. Deshalb sollte eine relativ lange Zeitspanne bis zur Nachkontrolle von Meßergebnissen verstreichen, um auch signifikante Unterschiede erkennen zu können. Nachkontrollintervalle sollten demzufolge nicht kürzer als 2 Jahre gewählt werden.

Als Ausnahme gibt es zum Beispiel den Beginn einer Glukokortikoidtherapie oder eine Organtransplantation, bei denen Veränderungen von bis zu 15 % pro Jahr beobachtet werden können. In diesen Fällen sind Kontrollintervalle von 6 Monaten angebracht. Im Gegensatz zu diesen rein technisch bedingten Erwägungen steht die Tatsache, daß Kontrollmessungen sicher ein wichtiges Instrument zur Patientenführung für den behandelnden Arzt sind. Das Wissen um Knochenmasse und deren Änderung hat nämlich sicher auch Einfluß auf die Kooperation der Patienten. Aus diesem Blickwinkel betrachtet, können häufigere Kontrollmessungen in Einzelfällen durchaus hilfreich und angemessen sein.

Der ideale Zeitpunkt für eine Ausgangsuntersuchung liegt bei Frauen am Ende der Menopause. Hierzu sind in erster Linie Messungen an der LWS und am Femur empfohlen. Falls möglich, können auch zusätzliche Messungen am distalen Radius und am Fersenbein durchgeführt werden, um das Gesamtbild des skelettalen Status abzurunden. Es kommt nämlich häufig vor, daß signifikante Unterschiede bei Messungen an den

MESSINTERVALLE

Für alle Messungen ist es wichtig, die Zeitintervalle zur Nachkontrolle angemessen zu wählen. Beide in der klinischen Routine angewendeten

verschiedenen Körperstellen bestehen [8, 13, 29, 40, 49, 51, 52].

DXA-BEFUND

Der Befund einer Densitometrie sollte stets von einer klinischen Interpretation begleitet werden. Quantitative Daten müssen stets zu einer Diagnose führen, die den skelettalen Status des Patienten benennt, um eine schnelle und eindeutige Informationsübermittlung zwischen Radiologen und behandelndem Arzt zu gewährleisten [41].

Die folgenden Elemente sollen im Befund enthalten sein:

- Meßtechnik: z. B. QCT, pQCT, DXA, QUS
- Region: z. B. LWS, proximaler Femur
- Strahlengang: z. B. P.A., lateral, axial
- Verhältnisse am Meßort: z. B. degenerative Veränderungen, alte Frakturen
- Absoluter Meßwert (mit Einheit): z. B. 1,013 g/cm²
- T-score: Standardabweichung
- Z-score: Standardabweichung
- Diagnose: mit dem skelettalen Status (Osteoporose / Osteopenie – WHO Kriterien) und Vergleich mit altersentsprechenden Normdaten (Z-score)

ZUSAMMENFASSUNG

Es gibt mehrere Möglichkeiten, ein diagnostisches Vorgehen zu planen. Diese hängen von der Zielpopulation und ganz einfach auch von den verfügbaren Geräten ab. In Anbetracht der wissenschaftlichen Literatur und nach meiner eigenen Erfahrung sollte zumindest eine der erwähnten Standardmethoden zum Einsatz kommen. „Additive Methoden“ sollen zusätzlich je nach der speziellen Situation des Patienten oder der Zielpopulation und je nach der speziellen gewünschten Information (Meßort, Knochen-

kompartiment) eingesetzt werden. Der T-score als diagnostisches Hauptkriterium wird derzeit in Fachkreisen heftig diskutiert. Er ist unter gewissen Umständen (z. B. QCT der LWS, wo der Abfall der altersentsprechenden Normwerte in den Referenzdaten besonders groß ist) nur von limitiertem Wert, da seine Anwendung zu einer Überbewertung eines Krankheitszustandes führen kann. So können besonders ältere Patienten überdiagnostiziert werden. In diesem Fall ist die gleichzeitige Betrachtung des Z-scores (v. a. bei Personen ab dem 60. Lebensjahr) besonders hilfreich.

Diagnostische Bewertungen, die zusätzlich zum Alter und zur Knochenmineraldichte noch weitere Faktoren, wie zum Beispiel das „Lebensfrakturrisiko“, mit einbeziehen, stehen derzeit im Zentrum der wissenschaftlichen Diskussion und Bemühungen. Da jedoch derzeit noch kein Konsens über deren klinische Wertigkeit und Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis besteht, empfehle ich derzeit noch weiterhin die Verwendung des T-scores als kleinsten gemeinsamen Nenner, der von der Mehrzahl der Anwender akzeptiert ist.

Literatur:

1. Ashman RB, Rho JY. Elastic modulus of trabecular bone material. *J Biomechanics* 1988; 21: 177–81.
2. Ceder L, Elmquist D, Svensson SE. Cardiovascular and neurologic function in elderly patients sustaining a fracture of the neck or the femur. *J Bone Joint Surg (Br)* 1981; 63B: 560–6.
3. Glüer CC. Quantitative ultrasound techniques for the assessment of osteoporosis: expert agreement on current status. The international quantitative ultrasound consensus group. *J Bone Miner Res* 1997; 12: 1280–8.
4. Greenfield MA, Craven JD, Wishko DS, Huddleston AL, Friedman R, Stern R. The modulus of elasticity of human cortical bone: an in-vivo measurement and its clinical implications. *Radiology* 1975; 115: 163–6.
5. Jergas MD, Majumdar S, Keyak JH, Lee IY, Newitt DC, Grampp S. et al. Relationships between Young modulus of elasticity, ash density, and MRI derived effective transverse relaxation T2* in tibial specimens. *J Comput Assist Tomogr* 1995; 19: 472–9.
6. Cummings SR, Black DM, Nevitt MC, Browner W, Cauley J, Ensrud K, et al. Bone

density at various sites for prediction of hip fractures: the study of osteoporotic fractures. *Lancet* 1993; 341: 72–5.

7. Cummings SR, Nevitt MC, Browner WS, Stone K, Fox K, Ensrud K, et al. Risk factors for hip fractures in white women. *NEJM* 1995; 332: 767–73.
8. Genant HK, Engelke K, Fuerst T, Glüer CC, Grampp S, Harris ST, et al. Noninvasive assessment of bone mineral and structure: state of the art. *J Bone Miner Res* 1996; 11: 707–30.
9. Miller PD, Bonnick SL, Rosen CJ. Consensus of an international panel on the clinical utility of bone mass measurements in the detection of low bone mass in the adult population. *Calcif Tissue Int* 1996; 58: 207–14.
10. Boyce WJ, Vessey MP. Rising incidence of fracture of the proximal femur. *Lancet* 1985; 175: 150–1.
11. Adams JE. Single and dual x-ray absorptiometry. *Eur Radiol* 1997; 7: 20–31.
12. Glüer CC, Cummings SR, Bauer DC, Stone K, Pressman A, Mathur A, et al. Osteoporosis: association of recent fractures with quantitative US findings. *Radiology* 1996; 199: 725–32.
13. Grampp S, Genant HK, Mathur A, Lang P, Jergas M, Takada M, et al. Comparisons of non-invasive bone mineral measurements in assessing age-related loss, fracture discrimination, and diagnostic classification. *J Bone Miner Res* 1997; 12: 697–711.
14. Guglielmi G, Glüer CC, Majumdar S, Blunt BA, Genant HK. Current methods and advances in bone densitometry. *Eur Radiol* 1995; 5: 129–39.
15. Guglielmi G, Schneider P, Lang TF, Giannatempo GM, Cammisa M, Genant HK. Quantitative computed tomography at the axial and peripheral skeleton. *Eur Radiol* 1997; 7: 32–42.
16. Link TM, Majumdar S, Augat P, Lin JC, Newitt D, Lane N, Genant HK. Proximal femur: assessment for osteoporosis with T2* decay characteristics at MR imaging. *Radiology* 1998; 209: 531–6.
17. Frost HM. Dynamics of bone remodelling. In: Frost H (ed). *Bone biodynamics*. Little Brown, Boston, 1964; 315–34.
18. Jones CD, Laval-Jeantet AM, Laval-Jeantet MH, Genant HK. Importance of measurement of spongy vertebral bone mineral density in the assessment of osteoporosis. *Bone* 1987; 8: 201–6.
19. Lindsay R, Tohme JF. Estrogen treatment of patients with established postmenopausal osteoporosis. *Obstet Gynecol* 1990; 76: 290–5.
20. Ross PD, Davis JW, Epstein RS, Wasnich RD. Preexisting fractures and bone mass predict vertebral fracture incidence in women. *Ann Intern Med* 1991; 114: 919–23.
21. Ross PD, Genant HK, Davis JW, Wasnich RD. Predicting vertebral fracture incidence from prevalent fractures and bone density among non-black, osteoporotic women. *Osteoporosis Int* 1993; 3: 120–6.
22. Watts NB, Harris ST, Genant HK, Wasnich RD, Miller PD, Jackson RD. Intermittent

- cyclical etidronate treatment of postmenopausal osteoporosis. *New Engl J Med* 1990; 323: 73–9.
23. Gordon CM. Bone density issues in the adolescent gynecology patient. *J Pediatr Adolesc Gynecol* 2000; 13: 157–61.
24. Harke HT. Pediatric bone densitometry: technical issues. *Semin Musculoskeletal Radiol* 1999; 3: 371–8.
25. Resch H, Nwerkla S, Grampp S, Resch A, Zapf S, Piringer S. Ultrasound and x-ray based bone densitometry in patients with anorexia nervosa. *Calcif Tissue Int* 2000; 66: 338–41.
26. Seeman E, Karlsson MK, Duan Y. On exposure to anorexia nervosa, the temporal variation in axial and appendicular skeletal development predisposes to site specific deficits in bone size and density: a cross sectional study. *J Bone Miner Res* 2000; 15: 2259–65.
27. Hui SL, Slemenda CW, Johnston CC. Age and bone mass as predictors of fracture in a prospective study. *J Clin Invest* 1988; 81: 1804–9.
28. Kanis JA. Assessment of fracture risk and its application to screening for postmenopausal osteoporosis: synopsis of a WHO report. *Osteoporosis Int* 1994; 4: 368–81.
29. Grampp S, Henk CB, Fuerst TP, Lu Y, Bader TR, Kainberger F, Imhof H. Diagnostic agreement of quantitative ultrasound of the calcaneus with dual x-ray absorptiometry of the spine and femur. *Am J Roentgenol* 1999; 173: 329–34.
30. Grampp S, Henk CB, Lu Y, Krestan C, Resch H, Kainberger F, Yousseffzadeh S, Imhof H. Cut-off levels for quantitative ultrasound of the calcaneus in the distinction of healthy and osteoporotic individuals. *Radiology* 2001; 220: 400–5.
31. Krestan C, Grampp S, Resch-Holeczke A, Henk CB, Imhof H, Resch H. Diagnostic agreement of imaging ultrasonometry of the calcaneus with dual-energy x-ray absorptiometry of the spine and femur. *Am J Roentgenol* 2001; 177: 213–6.
32. Melton III LJ, Chrischilles EA, Cooper C, Lane AW, Riggs BL. Perspective. How many women have osteoporosis? *J Bone Mineral Res* 1992; 7: 1005–10.
33. Alffram P. An epidemiological study of cervical and trochanteric fractures of the femur in an urban population. *Acta Orthop Scand* 1964; 65 (Suppl): 1–114.
34. Thomas TG, Steven RS. Social effects of fractures of the neck of the femur. *Br Med J* 1974; 3: 456–8.
35. Wallace W. The increasing incidence of fractures of the proximal femur: an orthopedic epidemic. *Lancet* 1983; 2: 1413–4.
36. Ito M, Hayashi K, Yamada M, Uetani M, Nakamura T. Relationship of osteophytes to bone mineral density and spinal fracture in men. *Radiology* 1993; 189: 497–502.
37. Rand T, Schneider B, Grampp S, Wunderbaldinger P, Migits H, Imhof H. Influence of osteophytic size on bone mineral density measured with dual x-ray absorptiometry. *Acta Radiol* 1997; 37: 210–3.
38. Yu W, Glüer CC, Grampp S, Jergas M, Fuerst T, Wu CY, Genant HK. Spinal bone mineral assessment in postmenopausal women: a comparison between dual x-ray absorptiometry and quantitative computed tomography. *Osteoporosis Int* 1995; 5: 433–9.
39. Seeley DG, Browner WS, Cummings SR, Genant HK. Which fractures are associated with low appendicular bone mass in elderly women? *Ann Intern Med* 1990; 115: 128.
40. Grampp S, Jergas M, Lang P, Steiner E, Fuerst T, Glüer CC, Genant HK. Quantitative CT assessment of the lumbar spine and radius in patients with osteoporosis. *Am J Roentgenol* 1996; 167: 133–40.
41. Grampp S, Dobnig H, Willvonseder R, Leb G. Leitlinien zur Anwendung densitometrischer Verfahren. *J Miner Stoffwechs* 2001; 8: 50–1.
42. Guglielmi G, Grimston SK, Fischer KC, Pacifici R. Osteoporosis: diagnosis with lateral and posteroanterior dual x-ray absorptiometry compared with quantitative CT. *Radiol* 1994; 192: 845–50.
43. Pacifici R, Rupich R, Griffin M, Chines A, Susman N, Avioli LV. Dual energy radiography versus quantitative computer tomography for the diagnosis of osteoporosis. *J Clin Endocrinol Metab* 1990; 70: 705–10.
44. Reinbold W, Genant HK, Reiser U, Harris S, Ettinger B. Bone mineral content in early-postmenopausal and postmenopausal osteoporotic women: comparison of measurement method. *Radiol* 1986; 160: 469–78.
45. Van Berkum FN, Birkenhäger JC, Van Veen LC, Zeelenberg J, Birkenhäger-Frenkel DH, Trouerbach WT. Noninvasive axial and peripheral assessment of bone mineral content: a comparison between osteoporotic women and normal subjects. *J Bone Miner Res* 1989; 4: 679–85.
46. Grampp S, Dobnig H, Willvonseder R. Empfehlung zur klinischen Anwendung und Relevanz der densitometrischen Verfahren. *J Miner Stoffwechs* 1999; 6: 19–21.
47. Jergas M, Breitenseher M, Glüer CC, Yu W, Genant HK. Estimates of volumetric bone density from projectional measurements improve the discriminatory capability of dual x-ray absorptiometry. *J Bone Miner Res* 1995; 10: 1101–10.
48. Grampp S, Steiner E, Imhof H. Radiological diagnosis of osteoporosis. *Eur Radiol* 1997; 7: 11–9.
49. Grampp S, Lang P, Jergas M, Glüer CC, Mathur A, Engelke K, Genant HK. Assessment of the skeletal status by peripheral quantitative computed tomography of the forearm: short-term precision in-vivo and comparison to dual x-ray absorptiometry. *J Bone Miner Res* 1995; 10: 1566–76.
50. Herd RJM, Blake G.M, Parker JC, Ryan PJ, Fogelman I. Total body studies in normal British women using dual energy x-ray absorptiometry. *Br J Radiol* 1993; 66: 303–8.
51. Mazess RB, Barden H, Ettinger M, Schultz E. Bone density of the radius, spine, and proximal femur in osteoporosis. *J Bone Min Res* 1988; 3: 13–8.
52. Steiger P, Cummings SR, Black DM, Spencer NE, Genant HK. Age-related decrements in bone mineral density in women over 65. *J Bone Miner Res* 1992; 7: 625–32.
53. Guglielmi G, Cammisia M, De Serio A, Scillitani A, Chiodini I, Carnevale V, et al. Phalangeal US velocity discriminates between normal and vertebrally fractured subjects. *Eur Radiol* 1999; 9: 1632–7.
54. Resch H, Pietschmann P, Bernecker P, Krexner E, Willvonseder R. Broadband ultrasound attenuation: A new diagnostic method in osteoporosis. *Am J Radiol* 1990; 155: 825–8.
55. Link T, Majumdar S, Grampp S, Guglielmi G, van Kuijk C, Imhof H, Glüer CC, Adams J. Imaging of trabecular bone structure in osteoporosis. *Eur Radiol* 1999; 9: 1781–8.
56. Smyth PP, Taylor CJ, Adams JE. Vertebral shape: automatic measurement with active shape models. *Radiology* 1999; 211: 571–8.
57. Verheij LF, Blokland JA, Papapoulos SE, Zwiderman AH, Pauwels EKJ. Optimization of follow-up measurements of bone mass. *J Nucl Med* 1992; 33: 1406–10.
58. Glüer CC, Blunt B, Engelke K, Jergas M, Grampp S, Genant HK. „Characteristic follow-up time“ – a new concept for standardized characterization of a technique's ability to monitor longitudinal changes. *Bone Mineral* 1994; 25 (Suppl. 2): S 40.

Korrespondenzadresse:
Univ.-Prof. Dr. Stephan Grampp
Universitätsklinik für Radiodiagnostik
A-1090 Wien,
Währinger Gürtel 18–20
E-mail: stephan.grampp@univie.ac.at

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)