

Journal für
Mineralstoffwechsel

Zeitschrift für Knochen- und Gelenkerkrankungen

Orthopädie • Osteologie • Rheumatologie

Quantitativer Ultraschall

Barkmann R

Journal für Mineralstoffwechsel &

Muskuloskelettale Erkrankungen

2013; 20 (2), 46-50

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

Quantitativer Ultraschall

R. Barkmann

Kurzfassung: Methoden des quantitativen Ultraschalls (QUS) sind parametrische Verfahren zur Bestimmung von Knocheneigenschaften mittels Analyse von Schallwellen nach Durchquerung des Knochens oder eines Teils davon. Dabei existieren verschiedene Verfahren, je nach Art des Knochens und der Durchschallungsrichtung. Die Quertransmission durch den Kalkaneus hat sich als bestes Verfahren zur Prädiktion osteoporotischer Frakturen erwiesen, mit einer mit der DXA vergleichbaren Prädiktionskraft. Solange es aber noch keine Studien über die medikamentöse Frakturvermeidung in einer Patientengruppe gibt, die ihre Therapieempfehlung anhand von QUS-Kriterien erhalten hat, kann keine Therapie anhand einer QUS-Messung ohne DXA-Messung empfohlen werden. QUS am Kalkaneus korreliert stark mit der Knochendichte am selben Messort, aber schwach mit der Dichte an anderen Messorten wie dem Femur oder der Wirbelsäule, wes-

halb auch keine Diagnose der Osteoporose mit QUS möglich ist. Neuere Entwicklungen zielen auf die Messung des proximalen Femurs, insbesondere des Schenkelhalses, und auf die Bestimmung von Knochenfestigkeitsparametern, die mit einer Knochendichtemessung nicht erfassbar sind.

Schlüsselwörter: quantitativer Ultraschall, Frakturprädiktion, Knochenmaterialeigenschaften

Abstract: Quantitative Ultrasound. Methods of quantitative ultrasound (QUS) are parametric approaches for determining properties of bone by means of analysis of sound waves after traversing of the bone or a part thereof. There are different procedures depending on the kind of bone and direction of transmission. Transverse transition through the calcaneus has been found as the best method for the prediction of osteo-

porotic fractures, with a predictive power comparable to DXA. As long as no studies on the drug-mediated fracture reduction in a group of patients who received their treatment recommendations based on QUS criteria have been performed, no therapy using a QUS measurement without DXA measurement is recommended. QUS at the calcaneus is highly correlated with DXA at the same site but weakly with the density of other measurement sites such as the femur or the spine, so no diagnosis of osteoporosis with QUS is possible. Newer developments are focusing on measurement of the proximal femur, especially of the neck, and on the determination of bone strength parameters, which are not detectable with bone densitometry. **J Miner Stoffwech 2013; 20 (2): 46–50.**

Key words: quantitative ultrasound, fracture prediction, bone material properties

■ Einleitung

Jeder Arzt kennt „den Ultraschall“ als bildgebende Methode mittels reflektierter Ultraschallwellen. Und er lernt auch, dass Knochen nicht schallbar sind. Wo liegen also die Unterschiede zwischen der Sonographie und dem quantitativen Ultraschall (QUS)? Zunächst haben beide Methoden natürlich eine Gemeinsamkeit: Es wird die Ausbreitung akustischer Wellen im Körper ausgenutzt. Anders als Röntgenstrahlen, die ebenso wie Lichtwellen, Mikrowellen oder Gammastrahlen eine Form elektromagnetischer Wellen sind, entstehen Schallwellen aus Dichteänderungen in einem Medium; Dichteänderungen, die sich fortpflanzen, reflektiert werden können und sich auf dem Weg verändern. Dies sind Eigenschaften, die sowohl zur Bildgebung in der Sonographie als auch zur Parametrisierung beim QUS benutzt werden.

Mit Ultraschall bezeichnet man Schallwellen mit einer Frequenz oberhalb von 20 kHz, in etwa oberhalb des menschlichen Hörbereichs. Ihre Ausbreitungsgeschwindigkeit hängt von Eigenschaften des durchschallten Mediums ab, wobei Festkörper wie die Knochen eine höhere Schallgeschwindigkeit aufweisen als weiche Organe. Unterschiede in der Schallgeschwindigkeit und in der Dichte verschiedener Organe und Körperregionen sind verantwortlich für die Reflexionen, die in der Sonographie für die Bilderstellung genutzt werden. Wegen der höheren Schallgeschwindigkeit und Dichte im Knochen wird ein großer Teil des Schalls an der Knochenoberfläche reflektiert, sodass die

Sonographie in der Tat nicht für die Untersuchung des Knocheninneren geeignet ist. Es müssen also andere Messmethoden zum Einsatz kommen.

■ Was messen wir eigentlich mit quantitativem Ultraschall?

Anders als bei der Sonographie benutzen die klinischen QUS-Geräte getrennte Schallwandler als Sender und Empfänger. Auch werden keine Bilder zur Diagnostik erzeugt, in einigen Geräten aber zur Kontrolle der Positionierung oder Definition der Messregion. QUS-Methoden sind parametrisch, d. h. aus der Veränderung der Schallwelle quantitative Variablen berechnet werden, welche in Beziehung zu Knocheneigenschaften wie Dichte, Struktur oder Festigkeit stehen. Wegen der starken Schwächung hochfrequenter Schallwellen im Knochen ist der nutzbare Frequenzbereich beschränkt, mit einer Obergrenze bei 2 MHz.

Die Schallausbreitung im Skelett hängt stark von der Art des Knochens ab; sie ist in der Kompakta von Röhrenknochen anders als im trabekulären Knochen. Daraus resultieren auch unterschiedliche Messgeräte mit unterschiedlichen Messparametern, die je nach Messort auch verschiedene Knocheneigenschaften reflektieren. Diesem Umstand muss man bei der Frage, welche Knocheneigenschaften Einfluss auf die QUS-Variablen haben, Rechnung tragen [1]. Abbildung 1 zeigt Geräte der am weitesten verbreiteten Verfahren: die Quertransmission durch den Kalkaneus (Abb. 1a), die Quertransmission durch die Fingerphalangen (Abb. 1b) und die axiale Transmission am Radius (Abb. 1c).

Die stärkste Verbreitung hat die Quertransmission durch den Kalkaneus, welcher überwiegend aus trabekulärem Gewebe

Eingelangt am 26. Jänner 2013; angenommen am 28. Jänner 2013

Aus der Sektion Biomedizinische Bildgebung, Klinik für Diagnostische Radiologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Kiel, Deutschland

Korrespondenzadresse: Dr. Reinhard Barkmann, Sektion Biomedizinische Bildgebung, Klinik für Diagnostische Radiologie, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, D-24118 Kiel, Am Botanischen Garten 14; E-Mail: barkmann@rad.uni-kiel.de

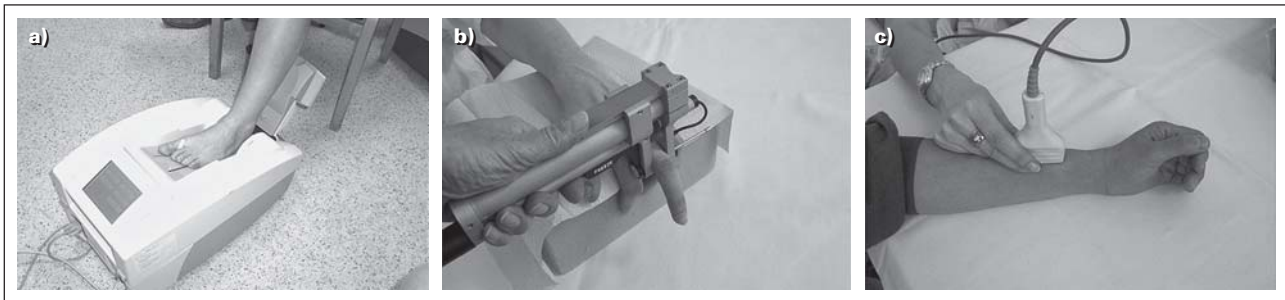


Abbildung 1: Geräte des quantitativen Ultraschalls. (a) Quertransmission durch den Kalkaneus; (b) Quertransmission durch die Fingerphalangen; (c) axiale Transmission am Radius.

besteht. Hier wird die Schalleitung in medio-lateraler Richtung durch den Knochen mithilfe zweier sich gegenüberstehender Wandler – einem Sender und einem Empfänger – gemessen. Messgrößen sind Schallgeschwindigkeit und frequenzabhängige Schwächung. Die Schallgeschwindigkeit („speed of sound“ [SOS]), die Geschwindigkeit, mit der die Welle den Knochen durchquert, hängt überwiegend vom Verhältnis von Knochen- und Markvolumen ab. Die Schwächung der Welle wird zusätzlich beeinflusst von der Streuung an der Trabekelstruktur und der Absorption im Medium. Im trabekulären Knochen steigt die Schwächung stark mit der Frequenz an. In logarithmischem Maßstab (Einheit: dB) über der Frequenz aufgetragen, ergibt sich näherungsweise eine Gerade, deren Steigung sich als gut geeignete Variable für die Charakterisierung des Knochens erwiesen hat (Breitband-Ultraschallabschwächung [BUA], Einheit: dB/MHz). Daneben gibt es noch Parameter, die aus der Kombination von SOS und BUA berechnet werden (Stiffness, QUI).

Abbildung 2 zeigt bei postmenopausalen Frauen (Alter 61–86) eine recht gute Korrelation zwischen QUS und peripherer DXA am Kalkaneus mit $R^2 = 0,68$ (OPUS-Daten [2]). Man kann also sagen, dass die QUS-Variablen am Kalkaneus in erster Linie die Knochendichte (mit der DXA gemessene Flächendichte) wiedergeben. Wie viel des Restfehlers in der Korrelation der beiden Messwerte am Kalkaneus den noch verbleibenden Unterschieden in der ausgewerteten Messregion oder den Unterschieden in der Messmethodik geschuldet ist, ist noch unklar. Neben der Dichteabhängigkeit gibt es auch eine Abhängigkeit der Ultraschallausbreitung von der trabekulären Struktur. So

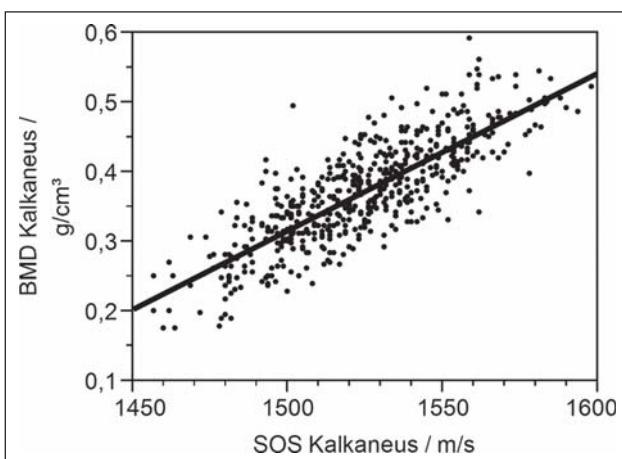


Abbildung 2: Korrelation zwischen Knochendichte und Schallgeschwindigkeit am Kalkaneus bei postmenopausalen Frauen [2].

ist die Ausbreitung anders in Vorzugsrichtung der Trabekel als senkrecht dazu, was in unterschiedlichen Werten der Ultraschallvariablen resultiert. *In vivo* lässt sich der Kalkaneus allerdings nur in medio-lateraler Richtung durchschallen. In dieser Richtung sind Knochendichte und Struktur jedoch stark korreliert, sodass kaum ein zusätzlicher Einfluss durch Strukturvariabilitäten über den Dichteinfluss hinaus messbar ist [3].

Die Schallausbreitung in der Kompakta hängt von der lamellaren, porösen Struktur sowie von der äußeren Geometrie ab. Klinisch eingesetzt werden zwei grundsätzlich unterschiedliche Verfahren: die Quertransmission durch die Fingerphalangen und die axiale Transmission am Schaft von Röhrenknochen (Tibia, Radius, Phalangen). Bei der transversalen Transmission durch die Fingerphalangen stehen sich ähnlich wie beim Kalkaneus zwei Schallwandler gegenüber (Abb. 1b) und es wird die Veränderung der Schallwelle nach Transmission durch die Phalanx ausgewertet. Die Ultraschallparameter hängen überwiegend von der kortikalen Querschnittsfläche und Porosität ab [4]. Endostale Resorption, z. B. bei rheumatischen Erkrankungen [5], und Zunahme der Porosität ändern deswegen die Messwerte, aber auch das Knochenwachstum lässt sich gut verfolgen [6, 7].

Die axiale Transmission bezeichnet eine Welle, die längs der Achse langer Knochen läuft [8]. Ein Vorteil in der Handhabung dieser Methode ist die Applikation eines Wandlerarrays an einer Seite des Knochens (z. B. Radius, Phalanx oder Tibia), die Messorte müssen also nicht von zwei Seiten zugänglich sein. Vom Sender wird eine Schallwelle durch das Weichgewebe in den Knochen emittiert. Ein Teil dieser Welle bewegt sich parallel zur Oberfläche durch die Kortikalis und sendet dabei wieder dauernd Schallanteile ins Weichteil zurück, welche dann von verschiedenen Empfängerzellen aufgenommen werden. Durch geschickte Anordnung mehrerer Wandler im Array und Kenntnis der Gesetze der Schallausbreitung lässt sich die Schallgeschwindigkeit im Knochen selbst berechnen [9]. Abbildung 1c zeigt die Applikation eines Wandlerarrays am Radius. Ausführlichere Beschreibungen der verschiedenen Methoden finden sich in [1, 10].

■ Klinische Anwendungen des QUS

Für die Diagnostik einer Osteoporose lässt sich QUS nicht einsetzen, da die T-Werte der QUS-Methoden nicht mit denen der axialen DXA vergleichbar sind und somit die WHO-Klassifikation nicht anwendbar ist [11]. Die verschiedenen QUS-Ge-

räte zeigen unterschiedliche, altersabhängige Verminderungen der Messwerte, auch wenn die Resultate in T-Scores umgerechnet werden. Je nach Methode würden unterschiedlich große Bevölkerungsanteile einen T-Wert $< -2,5$ besitzen und als osteoporotisch eingestuft werden. Es gab Versuche, dieses Problem durch Berechnung äquivalenter T-Werte zu umgehen, die dann zumindest zu einer vergleichbaren Prävalenz der Osteoporose führen. Da allerdings, wie in Abbildung 3 illustriert, die Korrelationen zwischen QUS am Kalkaneus und der DXA an den zentralen Messorten lumbale Wirbelsäule und proximales Femur nur moderat sind (OPUS-Daten [2]), würde überwiegend ein anderes Kollektiv als osteoporotisch eingestuft werden, in der das Frakturrisiko nicht notwendigerweise gleich dem in der nach WHO-Kriterium ausgewählten Gruppe ist. Das ist übrigens nicht nur ein Problem des QUS, sondern aller Methoden, die an peripheren Messorten eingesetzt werden.

Abbildung 3 zeigt die Korrelationen zwischen QUS am Kalkaneus und DXA an der lumbalen Wirbelsäule ($R^2 = 0,15$) und am proximalen Femur ($R^2 = 0,030$) bei postmenopausalen Frauen.

In der offiziellen Position der International Society for Clinical Densitometry (ISCD) zum quantitativen Ultraschall im Osteoporosemanagement [11] wird die Fähigkeit des QUS zur Frakturprädiktion für postmenopausale Frauen (alle osteoporotischen Frakturen) und für Männer > 65 (nur nicht-vertebrale Frakturen) als gesichert bejaht, allerdings nur für den Kalkaneus

als Messort und nur für Geräte, die in prospektiven Studien validiert wurden oder zu validierten Geräten äquivalente Messergebnisse aufweisen. Dabei ist die allgemeine Frakturprädiktion genauso gut wie bei der zentralen DXA. Für die anderen Methoden ist die Datenlage zu unsicher bzw. war die Frakturprädiktion schlechter.

Zwar lässt sich QUS nicht zur Diagnose der Osteoporose einsetzen, aber wegen der guten Eignung zur Frakturprädiktion stellt sich die Frage, ob QUS nicht statt der DXA zur Initiierung einer Therapie herangezogen werden kann. Dazu kommt, dass viele Fachgesellschaften dazu übergegangen sind, nicht das reine WHO-Kriterium zu verwenden, sondern aus Knochendichte, Alter und weiteren Risikofaktoren das 10-Jahres-Frakturrisiko zu errechnen [12] und dieses für eine Therapieempfehlung heranzuziehen [13]. Hier offenbart sich allerdings eine erhebliche Lücke in der Studienlage für den QUS. Da üblicherweise eine niedrige Knochendichte Einschlusskriterium in Studien zur Wirkung einer Pharmakotherapie war, ist deren Wirkung für Patienten mit niedrigen DXA-Werten belegt, aber nicht für Patienten mit niedrigen QUS-Werten [11]. Zwar ist es unwahrscheinlich, dass nicht auch letztere von einer Therapie profitieren, solange aber keine entsprechenden Daten vorliegen, dürfte es keine evidenzbasierten Empfehlungen für den Einsatz des QUS in diesem Szenario geben.

In der aktuellen Fassung der Leitlinien empfiehlt der Dachverband der deutschsprachigen wissenschaftlichen Fachgesellschaften, kurz Dachverband Osteologie (DVO), die Durchführung einer Basisdiagnostik aller Personen, bei denen anhand ihres klinischen Risikoprofils eine hohe Frakturrate (ein 20%iges oder höheres Risiko, in den nächsten 10 Jahren eine Wirbelkörper- und/oder proximale Femurfraktur zu erleiden) zu erwarten ist, basierend auf Alter und Frakturstatus sowie weiteren Risikofaktoren (Untergewicht, Nikotinkonsum, multiple Stürze, Immobilität). Knochendichtemessverfahren (DXA, QCT, QUS) sind für die Indikation zur Basisdiagnostik ausdrücklich nicht aufgeführt. Außerhalb dieser Risikoprofile wird derzeit vom DVO, von wenigen Ausnahmen abgesehen, keine Basisdiagnostik empfohlen. Allerdings bietet sich in diesem Rahmen doch eine Möglichkeit, QUS am Kalkaneus einzusetzen, und zwar zur Empfehlung für eine Basisdiagnostik, wenn das mit QUS ermittelte Frakturrisiko über 20 % liegt. Tabelle 1 zeigt für verschiedene Altersbereiche die Schwellenwerte für die Empfehlung einer Basisdiagnostik [13]. Statt der T-Werte benutzt man hier die Z-Werte, die unterschritten werden müssen. Da für Männer keine ausreichenden Daten vorliegen, gilt diese Empfehlung nur für Frauen. Ab einem Alter von 70 Jahren ist das Risiko altersbedingt bereits $> 20 \%$, sodass kein weiteres Kriterium erfüllt sein muss.

Um höhere Untersuchungskosten zu vermeiden, wird allerdings nicht empfohlen, diese Messungen zur Ermittlung der Indikation zur Basisdiagnostik durchzuführen, sondern nur als Option, um vorliegende Untersuchungsergebnisse zu interpretieren.

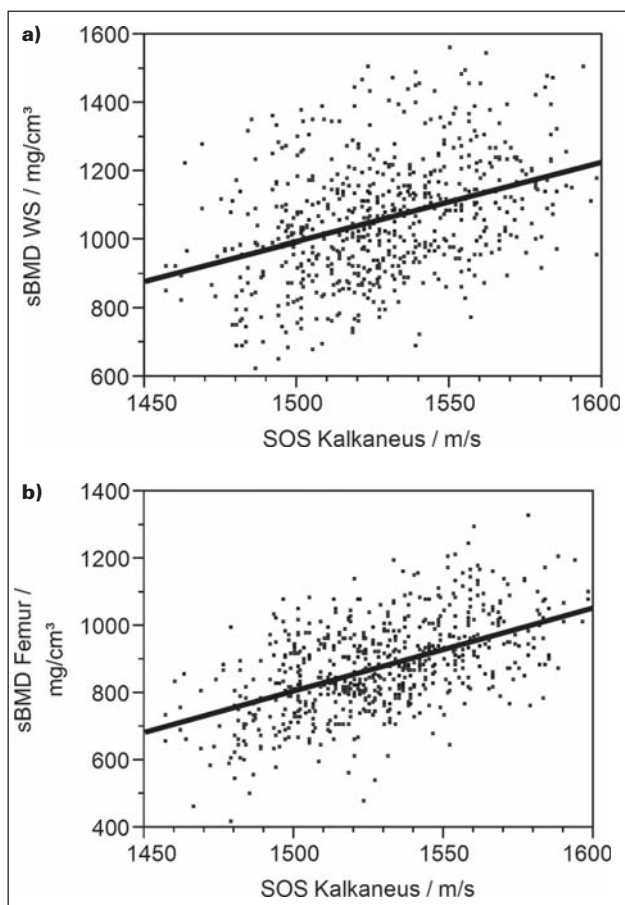


Abbildung 3: Korrelation zwischen Knochendichte an lumbaler Wirbelsäule und proximalem Femur und der Schallgeschwindigkeit am Kalkaneus bei postmenopausalen Frauen [2].

Tabelle 1: Z-Werte, bei deren Unterschreitung eine Basisdiagnostik empfohlen werden kann

Lebensalter in Jahren	50–54	55–59	60–64	65–69
Z-Werte	$< -2,7$	$< -2,0$	$< -1,2$	$< -0,5$

Zur Basisdiagnostik und vor eventuellem Beginn einer medikamentösen Therapie gehört eine Knochendensitometrie mit der DXA. Nur in folgenden Ausnahmefällen kann eine QUS-Messung sinnvoll sein, und zwar bei Hochrisikopatienten,

1. bei denen nur unter erschwerten Bedingungen eine DXA-Messung durchgeführt werden kann, als Vortest vor einer DXA-Untersuchung im Falle eines hohen Gesamtrisikos, oder
2. die eine typische Wirbelkörperfraktur aufweisen und bei denen keine Möglichkeit einer DXA-Messung besteht, mit unmittelbarer therapeutischer Konsequenz bei hohem Gesamtrisiko.

Allerdings sind die T-Werte dieser Messverfahren bezüglich der Risikoabschätzung nicht auf die T-Werte der DXA übertragbar. Stattdessen werden die Z-Scores in Abhängigkeit vom Alter des Patienten und standardisierten Risikogradienten des Gerätes ausgerechnet, bei deren Unterschreiten ein hohes Frakturrisiko besteht. Entsprechende Tabellen sind in der Langfassung der Richtlinien aufgeführt [14].

■ Neuere Entwicklungen

Wegen ihrer nur moderaten Korrelation lassen sich Studienergebnisse der zentralen DXA nicht auf Ergebnisse peripherer QUS-Messungen übertragen. Bei direkter Messung an diesen Messorten könnte man allerdings eine verbesserte Korrelation erwarten. Durchschallung der Wirbelsäule oder der Hüfte ist jedoch schwierig wegen des im Strahlengang liegenden Weichgewebes, welches wesentlich dickere und inhomogenere Schichten bildet als das den Kalkaneus umgebende Gewebe. Wegen des intestinalen Gasgehaltes lässt sich eine einfache Durchschallung der lumbalen Wirbelsäule nicht realisieren. Trotz dieser Schwierigkeiten haben wir einen QUS-Scanner für Messungen am proximalen Femur entwickelt [15] und in einer kleinen Studie klinisch erprobt [16]. Abbildung 4 zeigt ein mit dem Ultraschallscanner erzeugtes Durchschallungsbild im Vergleich mit einem DXA-Bild. Ausgewertet wurden eine Region im Trochanter major und zwei Regionen im Schaft. Ähnlich wie bei der DXA wurden Signale, die neben dem Knochen nur Weichteile durchlaufen, zur Korrektur des Weichteileinflusses benutzt. So konnte eine Korrelation von $R^2 = 0,72$ zwischen QUS und DXA erreicht werden, bei einer vergleich-

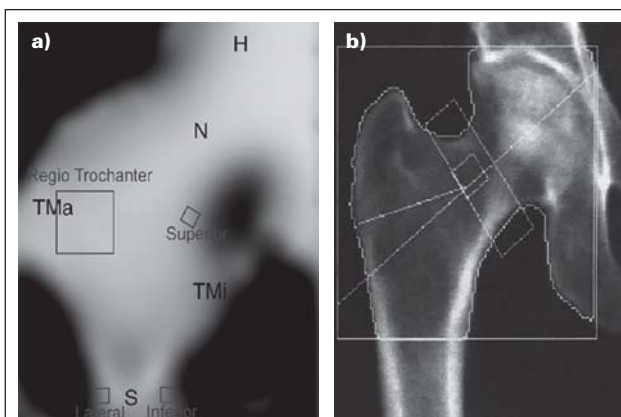


Abbildung 4: (a) Durchschallungsbild und (b) DXA-Bild eines proximalen Femurs

baren Frakturdiskriminierung. Der erste Aufbau war noch recht groß und unhandlich. Zurzeit wird die Methodik überarbeitet, um ein handlicheres, klinisch einsetzbares Gerät zu erstellen.

Weiteres Forschungsthema ist die Durchschallung des Schenkelhalses. Da Schenkelhalsfrakturen schlechter als petrochanträre Frakturen mit DXA vorhergesagt werden können, könnte QUS möglicherweise zusätzliche Informationen über das Frakturrisiko liefern. Ultraschallwellen laufen nicht nur durch die Mitte des Schenkelhalses, sondern werden auch durch die Kortikalis geleitet. Abbildung 5 zeigt zwei Momentaufnahmen dieser Durchschallung, erstellt mit einer Simulationssoftware [17]. Die Schallwelle bewegt sich dabei von links nach rechts und teilt sich auf in eine direkte Welle (DW) durch die Mitte des Halses und zwei geführte Wellen durch beide Hälften der Kortikalis (GW). Mit einem Empfängerarray lassen sich diese Wellen separieren und getrennt auswerten, sodass spezifische Kortikaliseigenschaften gemessen werden können.

Als Objekt wurde ein Schnitt durch den Schenkelhals benutzt, welcher mit akustischer Mikroskopie (SAM) aufgenommen wurde. Mit dieser Methode lassen sich hochaufgelöste, 2-dimensionale Abbildungen der akustischen Impedanz erzeugen, womit sowohl die heterogen verteilten elastischen Parameter der Kortikalis als auch die Mikrostruktur wie die Porenverteilung ermittelt werden können [18, 19]. Mithilfe der SAM konnte auch ein Modell entwickelt werden, welches Struktur- und Elastizitätsparameter mit der auch *in vivo* messbaren, axialen Transmission verknüpft [20]. Einerseits konnten so die Parameter identifiziert werden, welche die Schallgeschwindigkeit bei der axialen Transmission beeinflussen, andererseits hilft dies bei der Entwicklung von Methoden, Knochenparameter wie Porosität und Kortikalisdicke separat abzuschätzen [21, 22]. Die Schallausbreitung in der Kortikalis ist komplex, da sich verschiedene Ausbreitungsmodi überlagern. Neuere Forschung beschäftigt sich mit der Separation dieser Ausbreitungsmodi unter Verwendung komplexer Schallwandlerarrays und verfeinerter Signalanalyse [23].

In Netzwerken europäischer Forschungsinstitutionen wird daran gearbeitet, Eigenschaften zu messen, die unabhängig von der Knochendichte eine Bedeutung für die Knochenfestigkeit haben und damit einen Beitrag für eine verbesserte Frakturrisikobestimmung liefern können. Die Bestimmung gewebespezifischer Parameter über die Knochendichte hinaus kann einen Beitrag zur verbesserten Charakterisierung der Knochen-

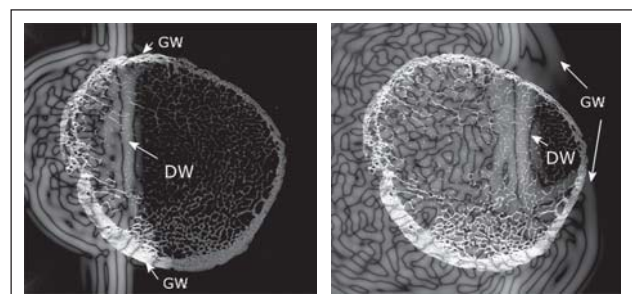


Abbildung 5: Zwei Momentaufnahmen der Durchschallung des Schenkelhalses von links nach rechts (Simulation). Die direkte Welle (DW) bewegt sich durch die Mitte des Knochens. Zwei geführte Wellen (GW) werden durch beide Seiten der Kortikalis geleitet.

fragilität liefern. Dies gilt insbesondere dann, wenn die Risikogradienten zwischen Frakturrisiko und Knochendichte verändert sind, zum Beispiel bei Pathologien jenseits der Osteoporose (z. B. Diabetes) oder bei anabolen oder antiresorptiven Therapien. Die Entwicklung multimodaler und modellbasierter Ansätze und ihre Umsetzung in am Menschen einsetzbare Verfahren ist Forschungsthema in europäischen Netzwerken wie dem deutsch-französischen Forschungsnetzwerk „Ultrasound-based Assessment of Bone“ (ULAB) und dem vom deutschen BMBF geförderten Netzwerk von Ostseeanrainerstaaten „Quantitative Imaging of Functional Competence of the Musculoskeletal System“ (Quimus).

■ Relevanz für die Praxis

Quantitativer Ultraschall am Kalkaneus ist eine gute Methode zur Bestimmung des osteoporotischen Frakturrisikos, wird aber wegen ungenügender Studienlage nicht als Kriterium für einen Therapiebeginn ohne DXA-Messung empfohlen. In Ausnahmefällen kann QUS als Vortest vor einer DXA-Messung herangezogen werden, wenn nur unter erschwerten Bedingungen eine DXA-Messung durchgeführt werden kann. Bei Patienten mit einer typischen Wirbelkörperfraktur, bei denen keine DXA-Messung durchgeführt werden kann, kann QUS bei hohem Risiko zum Therapieentscheid herangezogen werden. Sollte bereits ein QUS-Befund vorliegen, kann dieser unter Umständen als Indikation für eine Basisdiagnostik genommen werden. Wie in diesen Einzelfällen vorgegangen werden kann, ist in der Langfassung der Leitlinien beschrieben.

■ Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur:

1. Barkmann R, Heller M, Glüer CC. Methoden der in vivo-Ultraschallmesstechnik am Skelett: Grundlagen und technische Realisierung. *J Miner Stoffwechs* 1999; 6: 22–7.
2. Glüer CC, Eastell R, Reid DM, et al. Association of five quantitative ultrasound devices and bone densitometry with osteoporotic vertebral fractures in a population-based sample: the OPUS Study. *J Bone Miner Res* 2004; 19: 782–93.
3. Nicholson PH, Müller R, Lowet G, et al. Do quantitative ultrasound measurements reflect structure independently of density in human vertebral cancellous bone? *Bone* 1998; 23: 425–31.
4. Barkmann R, Lüsse S, Stampa B, et al. Assessment of the geometry of human finger phalanges using quantitative ultrasound in vivo. *Osteoporos Int* 2000; 11: 745–55.
5. Röben P, Barkmann R, Ullrich S, et al. Assessment of phalangeal bone loss in patients with rheumatoid arthritis by quantitative ultrasound. *Ann Rheum Dis* 2001; 60: 670–7.
6. Barkmann R, Rohrschneider W, Vierling M, et al. German pediatric reference data for quantitative transverse transmission ultrasound of finger phalanges. *Osteoporos Int* 2002; 13: 55–61.
7. Baroncelli GI, Federico G, Vignolo M, et al. Cross-sectional reference data for phalangeal quantitative ultrasound from early childhood to young-adulthood according to gender, age, skeletal growth, and pubertal development. *Bone* 2006; 39: 159–73.
8. Nicholson PHF, Moilanen P, Kärkkäinen T, et al. Guided ultrasonic waves in long bones: modelling, experiment and in vivo application. *Physiol Meas* 2002; 23: 755–68.
9. Barkmann R, Kantorovich E, Singal C, et al. A new method for quantitative ultrasound measurements at multiple skeletal sites: first results of precision and fracture discrimination. *J Clin Densitom* 2000; 3: 1–7.
10. Njeh C, Hans D, Fuerst T, et al. (eds). *Quantitative Ultrasound*. Martin Dunitz, London, 1999.
11. Krieg MA, Barkmann R, Gonnelli S, et al. Quantitative ultrasound in the management of osteoporosis: the 2007 ISCD Official Positions. *J Clin Densitom* 2008; 11: 163–87.
12. Cauley JA, El-Hajj Fuleihan G, Arabi A, et al.; FRAX[®] Position Conference Members. Official Positions for FRAX[®] clinical regarding international differences from Joint Official Positions Development Conference of the International Society for Clinical Densitometry and International Osteoporosis Foundation on FRAX[®]. *J Clin Densitom* 2011; 14: 240–62.
13. Dachverband Osteologie e. V. DVO-Leitlinie 2009 zur Prophylaxe, Diagnostik und Therapie der Osteoporose bei Erwachsenen. *Osteologie* 2009; 18: 304–28.
14. Pfeilschifter J. Evidenzbasierte Konsensus-Osteoporose-Leitlinie. Schattauer, Stuttgart, 2006.
15. Barkmann R, Laugier P, Moser U, et al. In vivo measurements of ultrasound transmission through the human proximal femur. *Ultrasound Med Biol* 2008; 34: 1186–90.
16. Barkmann R, Dencks S, Laugier P, et al. Femur ultrasound (FemUS) – first clinical results on hip fracture discrimination and estimation of femoral BMD. *Osteoporos Int* 2010; 21: 969–76.
17. Bossy E, Talmant M, Laugier P. Effect of bone cortical thickness on velocity measurements using ultrasonic axial transmission: a 2D simulation study. *J Acoust Soc Am* 2002; 112: 297–307.
18. Malo MK, Rohrbach D, Isaksson H, et al. Longitudinal elastic properties and porosity of cortical bone tissue vary with age in human proximal femur. *Bone* 2013; 53: 451–8.
19. Raum K, Rohrbach D, Laugier P, et al. Knochenqualität jenseits von Knochenmineraldichte. *Osteologie* 2010; 19: 217–24.
20. Raum K, Leguerney I, Chandelier F, et al. Bone microstructure and elastic tissue properties are reflected in QUS axial transmission measurements. *Ultrasound Med Biol* 2005; 31: 1225–35.
21. Grondin J, Grimal Q, Yamamoto K, et al. Relative contributions of porosity and mineralized matrix properties to the bulk axial ultrasonic wave velocity in human cortical bone. *Ultrasonics* 2012; 52: 467–71.
22. Moilanen P. Ultrasonic guided waves in bone. *IEEE Trans Ultrason Ferroelect Freq Control* 2008; 55: 1277–86.
23. Minonzio J-G, Talmant M, Laugier P. Guided wave phase velocity measurement using multi-emitter and multi-receiver arrays in the axial transmission configuration. *J Acoust Soc Am* 2010; 127: 2913–9.

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](#)