

Journal für
Mineralstoffwechsel
Zeitschrift für Knochen- und Gelenkerkrankungen
Orthopädie • Osteologie • Rheumatologie

Research Network Osteology Vienna:

Hochauflösende und

Mikro-Computertomographie in der

Wiener Osteologie

Deutschmann J, Patsch J

Valentinitsch A, Pietschmann P

Varga P, Dall'Ara E, Zysset P

Weber GW, Resch H, Kainberger F

Journal für Mineralstoffwechsel &

Muskuloskelettale Erkrankungen

2010; 17 (3), 104-109

Homepage:

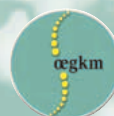
**[www.kup.at/
mineralstoffwechsel](http://www.kup.at/mineralstoffwechsel)**

**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



Research Network Osteology Vienna: Hochauflösende und Mikro-Computertomographie in der Wiener Osteologie

J. Deutschmann^{1,2}, J. Patsch^{1,2}, A. Valentinitz¹, P. Pietschmann², P. Varga³, E. Dall'Ara³, P. Zysset³, G. W. Weber⁴, H. Resch⁵, F. Kainberger¹

Kurzfassung: Das Spektrum bildgebender Verfahren zur Diagnostik osteologischer Fragestellungen wurde in den vergangenen Jahren vor allem durch verschiedene Techniken der hochauflösenden und der Mikro-Computertomographie (μCT) erheblich erweitert. Das „Research Network Osteology“ (RNO) Vienna hat es sich zum Ziel gesetzt, diese modernen bildgebenden Verfahren neben anderen osteologisch orientierten Forschungsrichtungen wie Molekularbiologie und Biomechanik interdisziplinär zu verbinden. Derzeit sind in das RNO 3 Mikro-CT-Geräte unterschiedlicher Bauart, ein HR-pQCT-, ein 64-Zeilen-Multidetektor-CT- und ein Dual-Source-CT-Gerät, 2 Knochendichtemessgeräte (DXA) unterschiedlicher Bauart, ein hochauflösender digitaler Röntgenaufnahmeplatz (in Mammo-

graphiequalität) sowie 2 3-Tesla- und ein 7-Tesla-MR-Gerät integriert. Verbunden durch ein dediziertes wissenschaftliches Kommunikations- und Bildarchivierungssystem werden diese Systeme im Rahmen wissenschaftlicher Studien und neuerdings auch zur gezielten klinischen Anwendung eingesetzt.

Abstract: Research Network Osteology Vienna (RNO): High-Resolution and Micro-Computed Tomography in Viennese Osteological Research. Over the past years, special imaging methods have improved the understanding of bone structure and metabolism, especially in the context of bone disease such as osteoporosis. New CT-based imaging modalities like micro-CT (μCT) and high-resolution peripheral

quantitative CT (HR-pQCT) offer an insight into 3D-bone micro architecture. One of the aims of the Research Network Osteology (RNO) Vienna is to connect those imaging methods in an interdisciplinary, osteological network, besides other scientific fields such as molecular biology, biomechanics and anthropology. Up to now 3 different types of μCT, one HR-pQCT, one 64-row multidetector CT and one Dual Source CT, 2 different bone density scanners (DXA), one high resolution X ray equipment, 2 3-Tesla and one 7-Tesla MRI are implemented in the RNO. Connected through a dedicated picture archiving and communication system, these techniques are used in the context of scientific studies and since recently, for specific clinical indications.

J Miner Stoffwechs 2010; 17 (3): 104–9.

■ Einleitung

Schwerpunkte der osteologischen Forschung sind die Diagnose und die Verlaufskontrolle der Osteoporose, einer systemischen Skeletterkrankung, die mit dem Verlust von Knochensubstanz und einer Veränderung der Knochenmikrostruktur einhergeht [1]. Die am häufigsten angewandte Standardmethode zur Messung des Mineralisationsgrades des Knochens ist die Densitometrie mittels DXA („dual energy x-ray absorptiometry“), ausgedrückt in der Knochendichte („areal bone mineral density“, aBMD) in g/cm² bzw. mit den T- und Z-Scores. Da es sich um ein projektionsradiographisches Verfahren handelt, ist eine Aussage über die Knochenarchitektur nur begrenzt möglich. Ebenso ist eine Vorhersage des tatsächlichen, individuellen Frakturrisikos nicht uneingeschränkt möglich [2].

In den vergangenen Jahren wurden neben der hochauflösenden Magnetresonanztomographie [3] CT-basierte Spezialverfahren entwickelt, die eine Erfassung der 3D-Knochenmineralisationsdichte („volumetric bone mineral density“, vBMD) sowie eine Beurteilung der Knochenmikroarchitektur mit einer Auflösung im μm-Bereich ermöglichen. Dabei ist grundsätzlich zwischen der klassischerweise in Ex-vivo-Präparatstudien eingesetzten Mikro-Computertomographie (μCT) und dem

auch für In-vivo-Untersuchungen geeigneten HR-pQCT („high resolution peripheral quantitative computed tomography“ zu unterscheiden [4], das als Weiterentwicklung der quantitativen Computertomographie (qCT) angesehen werden kann.

Um den Einsatz dieser und anderer hoch spezialisierter Techniken zur Beantwortung osteologischer Fragestellungen zu optimieren und verschiedenen Forschungsdisziplinen den Zugang zu diesen Geräten zu ermöglichen, wurde im Jahr 2009 das „Research Network Osteology“ (RNO) Vienna gegründet. Ziel des RNO ist die interdisziplinäre Erforschung der Knochenstruktur, Struktureigenschaften und des Knochenstoffwechsels sowie die Definition von klinischen Anwendungen der implementierten bildgebenden Modalitäten. In diesem Netzwerk mit wissenschaftlichen Schwerpunkten in Osteologie, Molekularbiologie, Biomechanik und Anthropologie stehen den Kooperationspartnern zurzeit folgende Geräte zur Verfügung:

- 3 Mikro-CT-Geräte unterschiedlicher Bauart
- 1 HR-pQCT-Gerät
- 1 64-Zeilen-Multidetektor-CT-Gerät und ein Dual-Source-CT-Gerät
- 2 Knochendichtemessgeräte (DXA) unterschiedlicher Bauart
- 1 hochauflösender digitaler Röntgenaufnahmeplatz (Phosphorspeicherplattentechnologie in Mammographiequalität)
- 2 Hochfeld-MR-Geräte mit 3-Tesla und eines mit 7-Tesla Feldstärke

Verbunden durch ein dediziertes wissenschaftliches Kommunikations- und Bildarchivierungssystem werden diese Systeme im Rahmen wissenschaftlicher Studien und neuerdings auch zur gezielten klinischen Anwendung eingesetzt.

Aufgrund der Vielfalt der Methoden kann in dieser Übersicht einzig auf die CT-basierten, hochauflösenden Technologien des RNO zur zerstörungsfreien Substananalyse des Knochenge-

Aus der ¹Abteilung für Neuroradiologie und Muskuloskeletale Radiologie, Universitätsklinik für Radiodiagnostik und dem ²Institut für Pathophysiologie, Medizinische Universität Wien; dem ³Institut für Leichtbau und Struktur-Biomechanik, Technische Universität Wien, dem ⁴Department für Anthropologie, Universität Wien, ⁵VINforce, KH der Barmherzigen Schwestern, Akademisches Lehrkrankenhaus der Medizinischen Universität Wien

Korrespondenzadresse: Mag. Julia Deutschmann, Abteilung für Neuroradiologie und Muskuloskeletale Radiologie, Universitätsklinik für Radiodiagnostik, Medizinische Universität Wien, A-1090 Wien, Währinger Gürtel 18–20; E-Mail: julia.deutschmann@meduniwien.ac.at

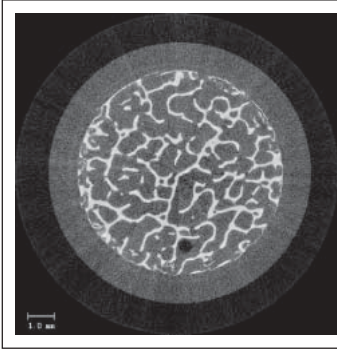


Abbildung 1: Scan einer Knochenbiopsie mit dem Scanco-µCT-40. Die Auflösung von etwa 12 µm lässt eine genaue Aussage über die Mikroarchitektur dieser Knochenprobe zu. Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Philippe K. Zysset, Institut für Leichtbau- und Struktur-Bio-mechanik, TU Wien (www.ilsb.tuwien.ac.at).

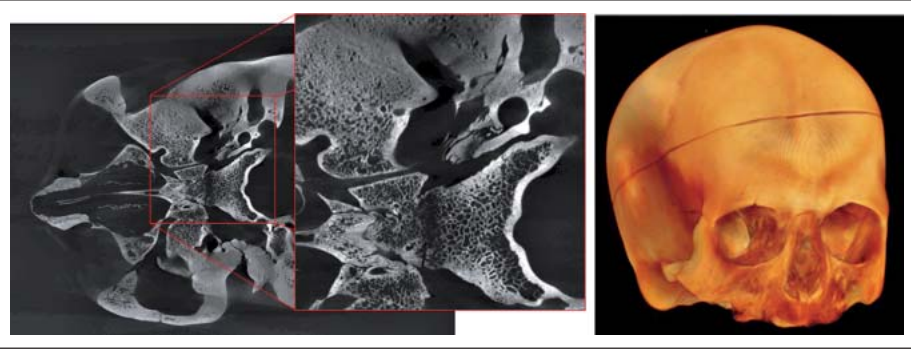


Abbildung 2: Schädel mit dem Krankheitsbild einer Leontiasis. Veränderungen der Mikrostruktur des Knochens lassen sich bei derartigen großen Präparaten nur mit dem Viscom-X8060-NDT-µCT des „Vienna micro-CT Lab“ realisieren. Dieser Scan wurde mit einer Auflösung von 80 µm durchgeführt. Mit freundlicher Genehmigung von Prof. Gerhard W. Weber, Department für Anthropologie, Universität Wien (www.micro-ct.at, www.anthropology.at) sowie Dr. Beatrix Patzak, Pathologisch-Anatomisches Bundesmuseum Wien (www.narrenturm.at).

webes inklusive ihrer Anwendungsmöglichkeiten, der Bauprinzipien und Untersuchungstechniken sowie der Prinzipien der Datenanalyse eingegangen werden.

■ Hochauflösende CT-Scanner

Mikro-Computertomographie

Anwendungsbereiche

Das RNO hat Zugang zu 2 verschiedenen Desktop-µCT-Geräten und einem industriellen Röntgeninspektionssystem mit µCT-Funktion (Viscom X8060 NDT). Die Untersuchung der Knochenmikrostruktur anhand kleiner Knochenproben von Osteoporosepatienten ist das hauptsächliche Anwendungsgebiet der µCT-Tischgeräte (Abb. 1). Muschitz et al. veröffentlichten 2007 einen Fallbericht, in dem die Wirkung einer hochdosierten Bisphosphonattherapie auf die Knochenqualität anhand von transiliakalen Knochenbiopsien untersucht wurde, wobei sich im µCT eine Verbesserung der Strukturparameter des Knochens zeigte [5]. Akhter et al. konnten in einer longitudinalen Studie anhand von Beckenkammbiopsien eine Abnahme der Knochenstrukturparameter am Übergang zur Menopause mit dem µCT erfassen [6]. Eine andere Studie dieser Arbeitsgruppe untersuchte mit dem Scanco-µCT-40 die Osteoporose anhand eines Tiermodells im Rahmen der Spondylarthropathie, wodurch grundlegende biomechanische Erkenntnisse über die Fragilität des Knochens bei dieser Pathologie gewonnen wurden [7]. Abseits der Osteoporoseforschung können diese Geräte auch in anderen wissenschaftlichen Bereichen eingesetzt werden, etwa zur Adaptation von Cochleaimplantaten [8] oder in der Kieferchirurgie [9].

Da das Viscom-X8060-NDT ein sehr neues und einzigartiges µCT-Gerät ist, wurden damit bislang noch keine wissenschaftlichen Arbeiten im Bereich der Knochenmikrostrukturforschung veröffentlicht. Das Potenzial, mit diesem Verfahren neue Erkenntnisse über die Mikroarchitektur von Knochen, Zähnen sowie stark mineralisierten fossilen Präparaten zu erlangen, ist allerdings groß (Abb. 2).

Bauprinzip und Untersuchungstechnik

Beide µCT-Tischgeräte des RNO (Scanco-µCT-35 und -µCT-40) bestehen aus einer fix montierten Mikrofokus-Röntgenröhre

mit gegenüberliegendem Detektor und einer dazwischen montierten Probenhalterung. Während die Probe gedreht wird, werden planare Projektionsaufnahmen angefertigt, aus denen letztendlich ein µCT-Datensatz errechnet wird. In der Probenhalterung können verschieden große Kunststoffzylinder mit den Präparaten im Strahlengang der Röntgenröhre platziert werden. Abhängig vom verwendeten Probenzylinder und somit von der gegebenen Objektgröße ist eine maximale isotropische Auflösung von 1,75 µm beim Scanco-µCT-35 und 3 µm beim Scanco-µCT-40 erreichbar. Bei der typischen Probe – einer Knochenbiopsie mit einem Durchmesser von etwa 5–6 mm [10] – lässt sich eine sinnvolle Auflösung von etwa 10–20 µm realisieren. Die maximale Probengröße ist beim Scanco-µCT-40 auf 36,9 mm Durchmesser und eine max. Länge von 80 mm beschränkt. Bei dieser Objektdimensionierung ist eine Auflösung von 18 µm erreichbar.

Die beiden Typen µCT 35 und µCT 40 sind einander in Dimensionierung und technischen Details ähnlich. Der Hauptunterschied liegt in der höheren erreichbaren Auflösung, dem größeren Scanbereich und der höheren maximalen Probengröße des Scanco-µCT-35 gegenüber dem Scanco-µCT-40 (Tab. 1). Beide µCT-Varianten sind als Vollschutzgeräte konzipiert und erfordern keine zusätzlichen Strahlenschutzmaßnahmen für den Anwender.

Das Viscom-X8060-NDT ist ein Röntgeninspektionssystem, das ursprünglich zur industriellen Materialprüfung entwickelt wurde. Neben der Möglichkeit zur Anfertigung von Projektionsaufnahmen verfügt dieses Gerät über eine µCT-Option, wodurch Schichtbilder mit bis zu 2 µm Auflösung erzeugt werden können. Diese vom Hersteller angegebene Detailerkennbarkeit stellt jedoch einen Maximalwert dar. Die erreichbare bzw. sinnvolle Auflösung hängt wiederum stark von der Objektgröße, der Anzahl der gewählten Winkelschritte sowie der verfügbaren Speicherplatzkapazität ab.

Ebenso wie bei den erwähnten Desktop-µCT-Geräten sind Röntgenröhre und Detektor in einer fixen Anordnung montiert. Der im Strahlengang liegende Probenmanipulator erlaubt es, relativ große Proben wie etwa einen kompletten Schädel zerstörungsfrei und in seiner Gesamtheit im µm-Bereich zu untersuchen. Die maximale Objektdimensionierung von 660 × 510 mm

Tabelle 1: HR-pQCT und μ CT-Scanner des „Research Network Osteology Vienna“ (RNO). Derzeit hat das RNO Zugang zu einem HR-pQCT und 3 verschiedenen Mikro-CT-Geräten.

	Scanco Xtreme CT	Scanco μ CT 35	Scanco μ CT 40	Viscom X8060 NDT
Institution	Univ.-Klinik f. Radiodiagnostik, Med. Univ. Wien	Univ.-Klinik f. Radiodiagnostik, Med. Univ. Wien	Inst. f. Leichtbau u. Struktur-Biomechanik, TU Wien	Vienna micro-CT Lab, Dept. f. Anthropologie, Univ. Wien
Scanner-Typ	HR-pQCT, in vivo/ex vivo	μ CT-Tischgerät, ex vivo	μ CT-Tischgerät, ex vivo	Röntgeninspektionssystem mit μ CT-Option, ex vivo
Funktionsprinzip	Objekt fixiert, Röhre rotiert	Fixe Röhren-Detektor-Anordnung, Objekt rotiert	Fixe Röhren-Detektor-Anordnung, Objekt rotiert	Fixe Röhren-Detektor-Anordnung, Objekt rotiert
Max. Probengröße	Distaler Unterarm bzw. Distaler Unterschenkel	75,8 × 140 mm ($\varnothing$ × L)	36,9 × 80 mm ($\varnothing$ × L)	660 × 510 mm (L × B), 30 kg
Max. Scanbereich	126 × 150 mm ($\varnothing$ × L)	36,9 × 120 mm ($\varnothing$ × L)	36,9 × 80 mm ($\varnothing$ × L)	660 × 510 mm (L × B)
Max. Auflösung	82 μ m in vivo 41 μ m ex vivo (nominal isotropisch)	1,75–72 μ m (nominal isotropisch)	3–72 μ m (nominal isotropisch)	< 2 μ m (Detailerkennbarkeit)
Strahlenschutz	Effektive Dosis von ca. 3 μ Sv (bei 9,02 mm Scanlänge u. 82 μ m Auflösung)	Vollschutzgerät	Vollschutzgerät	Vollschutzgerät

bei einem Höchstgewicht von 30 kg [11] macht den Einsatz dieser μ CT-Variante in Medizin und Biologie besonders interessant.

Während des Messvorgangs wird das Präparat um 360° im Strahlengang gedreht. In vordefinierten Abständen wird die Rotationsbewegung kurz angehalten und ein Projektionsbild erzeugt. Wird z. B. eine Schrittweite von 0,25° gewählt, erhält man insgesamt 1440 Röntgenbilder. Aus diesen 2-dimensionalen Summationsaufnahmen wird analog zu den μ CT-Tischgeräten durch entsprechende Algorithmen (gefilterte Rückprojektion, Feldkamp-Algorithmus) eine 3-dimensionale Rekonstruktion des Objekts berechnet [12].

Das als Vollschutzgerät konzipierte Viscom-X8060-NDT- μ CT wird vom Vienna micro-CT Lab (www.micro-ct.at) des Departments für Anthropologie der Universität Wien in Kooperation mit ihren Partnern von der Medizinischen Universität Wien (Univ.-Klinik für Radiodiagnostik, Zentrum für Physiologie, Pathophysiologie und Immunologie, Bernhard-Gottlieb-Universitätszahnklinik GesmbH) betrieben und steht den Mitgliedern des „Research Network Osteology Vienna“ für Forschungszwecke zur Verfügung. Dieses μ CT-System eignet sich hervorragend zur Untersuchung von Knochenproben sowie von stark mineralisierten Objekten wie z. B. versteinerten Knochen (Fossilien). In-vivo-Untersuchungen im Rahmen von Tierexperimenten sind mit diesem Gerät nicht möglich.

Dateninterpretation

Parameter der Bild- und Dateninterpretation der μ CT-Tischgeräte betreffen die Struktur und die Dichte des Knochens.

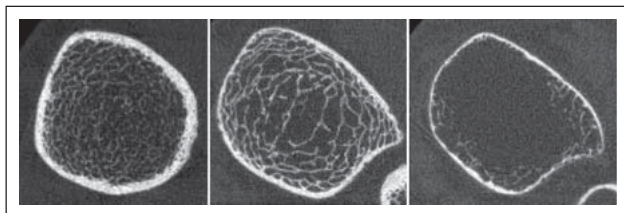


Abbildung 3: Tibiamessungen mit dem HR-pQCT. Mikroarchitektur bei einer gesunden Probandin (links), einer schweren Osteoporose (Mitte) und einer Immobilitätsosteoporose (rechts).

Strukturparameter sind – analog zur 2-dimensionalen Histomorphometrie – Trabekelanzahl, -dicke und -abstand. Die „connectivity density“ gibt die Anzahl der trabekulären Verbindungen pro mm^3 an, der „structure model index“ erlaubt Rückschlüsse auf die geometrische Form (stab- oder plättchenförmig) der Trabekel [13]. Zudem kann das trabekuläre Knochenvolumen („trabecular bone volume“, BV) direkt mit dem Gesamtvolumen („tissue volume“, TV) des untersuchten Knochenareals verglichen werden, mit dem Ziel, die relative Knochenquantität (BV/TV) zu bestimmen. Mit den von diesen μ CT-Geräten erfassten Dichteparametern ist eine Quantifizierung regionaler Dichteunterschiede in der untersuchten Knochenprobe möglich.

Die Interpretation der Knochenmikrostruktur anhand der Daten des Viscom-X8060-NDT erfolgt derzeit ausschließlich qualitativ durch visuelle Beurteilung. Möglichkeiten zur quantitativen Auswertung der Knochenmikrostruktur sind Inhalt künftiger Forschungsprojekte.

Hochauflösende periphere quantitative Computertomographie (HR-pQCT)

Anwendungsbereiche

Das HR-pQCT ist ein nicht-invasives Verfahren zur 3-dimensionalen Darstellung der Knochenmikrostruktur und kann neben der Osteoporosedagnostik grundsätzlich für alle Fragestellungen eingesetzt werden, bei denen die Mikroarchitektur des Knochens von Interesse ist.

Veränderung der Knochenmikroarchitektur und des Knochenstoffwechsels

Das Haupteinsatzgebiet des HR-pQCT ist die virtuelle Knochenbiopsie im Rahmen der osteologischen Forschung und bei Fehlregulationen des Knochenstoffwechsels (Abb. 3). So ist es z. B. möglich, ein bestimmtes Knochenareal mehrmals und zu unterschiedlichen Zeitpunkten nicht-invasiv *in vivo* zu untersuchen und das Ansprechen auf verschiedene Osteoporosetherapien zu überprüfen [14] bzw. die nachteiligen Auswirkungen von speziellen medikamentösen Therapien wie etwa Kortisonbehandlungen auf den Knochenmetabolismus zeitlich genau zu kontrollieren.

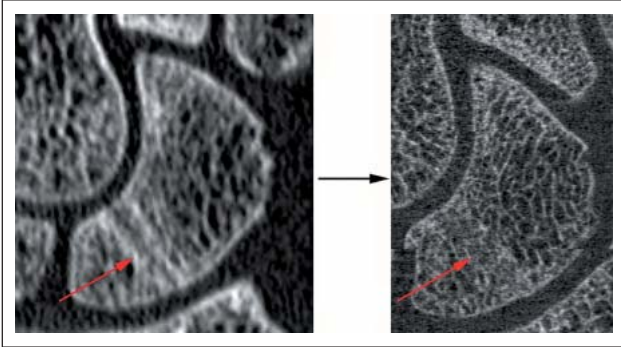


Abbildung 4: Verlaufskontrolle einer Kahnbeinfraktur. Die linke Abbildung zeigt an einer koronalen Schicht aus einem klinischen CT eine Fraktur im Scaphoid. In der HR-pQCT-Kontrolle nach einigen Wochen ist keine Frakturlinie mehr erkennbar, der Knochen ist durchgebaut (roter Pfeil). Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Jochen Erhart, Universitätsklinik für Unfallchirurgie, Medizinische Universität Wien.

Weiterer Forschungsschwerpunkt ist die Vorhersage von osteoporotischen Frakturen. Eine 2009 von Sornay-Rendu et al. veröffentlichte Arbeit zeigt, dass vertebrale Fragilitätsfrakturen bei postmenopausalen Frauen mit einem verminderten vBMD und Veränderungen des trabekulären und kortikalen Knochens von distalem Radius und distaler Tibia korrelieren und untermauert somit das Potenzial des HR-pQCT zur Vorhersage des Risikos, eine Insuffizienzfraktur zu erleiden [15].

Vielversprechend ist die Erforschung der biomechanischen Eigenschaften der distalen Extremitätenknochen mittels Finite-Elemente-Analyse (FE). So zeigte eine HR-pQCT-Studie von Boutroy et al. an postmenopausalen Frauen einen vom aBMD nicht erfassten Zusammenhang der Mikrostruktur und der biomechanischen Beschaffenheit des distalen Radius mit der Fragilitätsfraktur des Handgelenks [16].

Experimentelle In-vivo-Bildgebung

Abseits der Osteoporosediagnostik ist das HR-pQCT dazu geeignet, verschiedenste Pathologien des knöchernen Hand- und Fußskeletts bis zum distalen Unterarm bzw. -schenkel zu untersuchen. Durch die hohe Auflösung können etwa Mikrofrakturen im Bereich des Kahnbeins erfasst werden, die am herkömmlichen klinischen CT nicht zu erkennen sind bzw. der knöcherne Durchbau im Rahmen der Frakturheilung untersucht werden (Abb. 4). Neben der Darstellung der Handwurzelknochen hat die Bildgebung der Fingerknochen und des oberen Sprunggelenks klinisches Potenzial (Abb. 5).

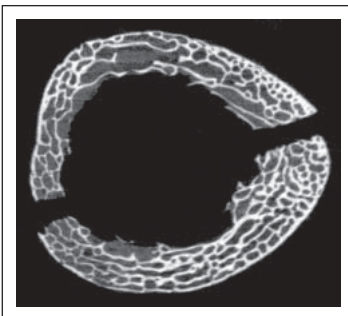


Abbildung 6: HR-pQCT bei Mb. Paget. Diese Ex-vivo-Messung einer Tibia zeigt eindrucksvoll die Veränderungen der Knochenmikroarchitektur bei Mb. Paget. Mit freundlicher Genehmigung von Dr. Beatrix Patzak, Pathologisch Anatomisches Bundesmuseum Wien (www.narrenturm.at).

Ex-vivo-Studien

Das dritte große Einsatzgebiet des HR-pQCT ist die experimentelle Bildgebung von Knochenpräparaten. Dabei sind die Erfassung und Beschreibung der Knochenmikrostruktur bei verschiedenen Pathologien von besonderem Interesse. Zum einen können Präparate nach Operationen von Knochenchondromen, Osteonekrosen und nach Schenkel-

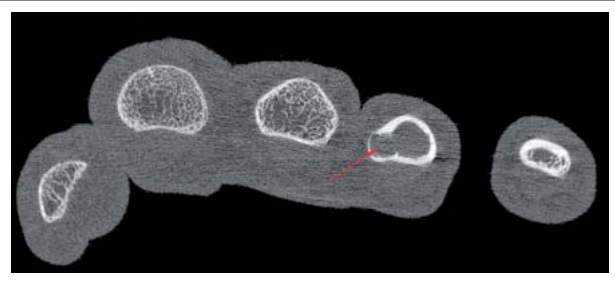


Abbildung 5: HR-pQCT der Finger. Dieser Scan zeigt eine Knochenzyste im Bereich des vierten Fingers (roter Pfeil).

halsfrakturen untersucht werden. Zum anderen liegt Potenzial in der Erforschung von Knochenpathologien anhand von historischen Museumspräparaten (Abb. 6) und Sammlungen der Anatomie.

Sämtliche derzeitige Anwendungen des HR-pQCT beschränken sich auf wissenschaftliche Studien. Indikationen für die klinische Routine wurden bislang noch nicht festgelegt, könnten jedoch z. B.

- die Diagnose und Verlaufskontrolle der Kahnbeinfraktur,
- der Einsatz der virtuellen Biopsie zur routinemäßigen Verlaufskontrolle bei Osteoporose und anderen Erkrankungen des Knochenstoffwechsels oder
- die Nutzung als diagnostisches Werkzeug in Ergänzung zur konventionellen Densitometrie mittels DXA sein.

Bei Verdacht auf eine Mineralisationsstörung oder eine malignombedingte Osteoporose ist man allerdings weiterhin auf die klassische Knochenbiopsie angewiesen.

Bauprinzip und Untersuchungstechnik

Ein HR-pQCT (Abb. 7) besteht aus einer um das Objekt rotierenden Röntgenröhre mit gegenüberliegender Detektoreinheit



Abbildung 7: Scanco Xtreme CT. HR-pQCT der Universitätsklinik für Radiodiagnostik, Medizinische Universität Wien (www.radiodiagnostik-akhwien.at).

und liefert bei einer Brennfleckgröße von nur 0,08 mm und einer Betriebsspannung von 60 kV 110 Schnittbilder bei einer vorgegebenen Scanlänge von 9 mm [17]. Bei In-vivo-Untersuchungen kann eine rekonstruierte Voxelgröße von 82 µm erreicht werden, bei Ex-vivo-Untersuchungen Präparatstudien von 41 µm.

Die relativ kleine Gantryöffnung eines HR-pQCT stellt einen limitierenden Faktor für die Objektgröße und den Scanbereich dar und erlaubt einen maximalen Objektdurchmesser von 126 mm, wodurch In-vivo-Untersuchungen auf die distalen Extremitäten beschränkt sind.

Bei einer HR-pQCT-Standarduntersuchung wird der Unterarm bzw. -schenkel des Patienten in der Öffnung des Tomographen positioniert und zur Minimierung von Bewegungsartefakten mit einer speziellen Karbon-Haltevorrichtung fixiert. Zusätzlich wird bei Untersuchungen der oberen Extremität eine aufblasbare Manschette verwendet, die ebenfalls durch Bewegung verursachte Bildartefakte minimiert. Die effektive Dosis ist mit etwa 3 µSv für eine derartige Standardmessung sehr gering und entspricht etwa 0,1 % der jährlichen, natürlichen Strahlenbelastung in Österreich.

Dateninterpretation

Analog zum µCT betreffen die Parameter der Bild- und Dateninterpretation des HR-pQCT Struktur und Dichte des Knochens sowie dessen Morphologie:

- Trabekeldicke, -anzahl und -abstand werden wie bei den µCT-Tischgeräten ausgewertet.
- Die lokale Ausrichtung der Trabekel kann mittels der „Mean-intercept-length“-Methode in der Form eines „fabric tensors“ beschrieben werden [18].
- Mit den HR-pQCT-Dichteparametern ist eine Quantifizierung regionaler Unterschiede in der Dichte von kortikalem und trabekulärem Knochen möglich [19].
- Die morphologische Beschaffenheit des kortikalen Knochens wird anhand von Dicke, Regelmäßigkeit und Porosität der Kortikalis analysiert [20, 21].
- Mit einer neuen schwellenwertunabhängigen, texturbasierten Methode lässt sich der trabekuläre Knochen in unterschiedliche Qualitätsklassen einteilen und so der Schweregrad einer Osteoporose klassifizieren [22].
- Weiters sind auf der Basis von HR-pQCT-Messungen computergestützte Untersuchungen der biomechanischen Eigenschaften des Knochens mittels Finite-Elemente-Analysen möglich [23, 24].

Datenmanagement

Bei einer HR-pQCT-Messung wird ein Rohdatensatz angefertigt, der von der Rekonstruktionssoftware in Bilddaten umgewandelt wird. Die dabei anfallenden Datenmengen sind abhängig von Auflösung und Scanbereich und bewegen sich bei einem Standardscan (9 mm Scanlänge, 82 µm Auflösung) in der Größenordnung von durchschnittlich 800 MB. Wählt man eine Scanlänge von z. B. 126 mm und eine Auflösung von 41 µm bei einer Ex-vivo-Messung, fallen > 50 GB Roh- und Bilddaten an. Zur Datensicherung werden Roh- und nicht mehr gebrauchte Bilddaten grundsätzlich auf Magnetbändern gesichert. Da die Sicherung und v. a. die eventuelle Wiederherstellung der Daten von den Bändern sehr zeitintensiv ist, wurde vom CIR-lab (Computational Image Analysis and Radiology) ein alternati-

ves Datensicherungs- und -austauschmodell entwickelt. Das so genannte „CIR-Pacs“ ermöglicht es, alle bei einer HR-pQCT-Messung anfallenden Daten auf einen externen Rechner zu transferieren und so ein Backup zu erstellen. Zudem können in das Dicom-Format konvertierte Bilddaten des HR-pQCT mittels CIR-Pacs ebenfalls gesichert, und mit einer geeigneten Dicom-Software allen berechtigten Anwendern online zur Verfügung gestellt werden. Dies bedeutet eine erhebliche Vereinfachung des Austausches der Bilddaten und nähert das Datenmanagement des HR-pQCT den Standards der radiologischen Routinemodalitäten an.

■ Danksagung

Für die Unterstützung und das Bildmaterial bedanke ich mich bei J. Eberhart, B. Patzak, G. Von Skrbensky und dem VIENNA micro-CT LAB (www.micro-ct.at) sowie dem CIR-lab der Medizinischen Universität Wien (www.cir.meduniwien.ac.at).

Literatur:

1. Issever AS, Link TM, Kentenich M, Rogalla P, Burghardt AJ, Kazakia GJ, Majumdar S, Diederichs G. Assessment of trabecular bone structure using MDCT: comparison of 64- and 320-slice CT using HR-pQCT as the reference standard. *Eur Radiol* 2010; 20: 458–68.
2. Stone KL, Seeley DG, Lui LY, Cauley JA, Ensrud K, Browner WS, Nevitt MC, Cummings SR. BMD at multiple sites and risk of fracture of multiple types: long-term results from the study of osteoporotic fractures. *J Bone Miner Res* 2003; 18: 1947–54.
3. Sigmund EE, Cho H, Song YQ. High-resolution MRI of internal field diffusion-weighting in trabecular bone. *NMR Biomed* 2009; 22: 436–48.
4. Cohen A, Dempster DW, Müller R, Guo XE, Nickolas TL, Liu XS, Zhang XH, Wirth AJ, van Lenthe GH, Kohler T, McMahon DJ, Zhou H, Rubin MR, Bilezikian JP, Lappe JM, Recker RR, Shane E. Assessment of trabecular and cortical architecture and mechanical competence of bone by high-resolution peripheral computed tomography: comparison with transiliac bone biopsy. *Osteoporos Int* 2010; 21: 263–73.
5. Muschitz C, Roschger P, Patsch J, Polhammer I, Koller B, Klaushofer K, Resch H. High-dose bisphosphonate therapy in an urgent case of spontaneous multiple vertebral fractures in a 55 year old woman. *Wien Med Wochenschr* 2007; 157: 388–91.
6. Akhter MP, Lappe JM, Davies KM, Recker RR. Transmenopausal changes in the trabecular bone structure. *Bone* 2007; 41: 111–6.
7. Akhter MP, Jung LKL. Decreased bone strength in HLA-B27 transgenic rat model of spondyloarthritis. *Rheumatology* 2007; 46: 1258–62.
8. Whiting BR, Holden TA, Brunsden BS, Finley CC, Skinner MW. Use of computed tomography scans for cochlear implants. *J Digit Imaging* 2008; 21: 323–8.
9. Sant'Anna EF, Gomez DF, Summer DR, Williams JM, Figueroa AA, Ostric SA, Theodoru S, Polley JW. Micro-computed tomography evaluation of the glenoid fossa and mandibular condyle bone after bilateral vertical ramus mandibular distraction in a canine model. *J Craniofac Surg* 2006; 17: 611–9.
10. Vigorita VJ. The bone biopsy protocol for evaluating osteoporosis and osteomalacia. *Am J Surg Pathol* 1984; 8: 925–30.
11. VISCOM X8060 NDT. Universelle 2D/3D Röntgeninspektion. Online unter: http://www.viscom.de/de/documents/X8060_NDT_de.pdf [gesehen 22.04.2010].
12. Feldkamp LA, Davis LC, Kress JW. Practical cone-beam algorithm. *JOSA A* 1984; 612–9.
13. Hildebrand T, Laib A, Müller R, Dequeker J, Rüegsegger P. Direct three dimensional morphometric analysis of human cancellous bone: microstructural data from spine, femur, iliac crest and calcaneus. *J Bone Miner Res* 1999; 14: 1167–74.
14. Chavassieux P, Karsdal MA, Segovia-Silvestre T, Neutsky-Wulff AV, Chapurlat R, Boivin G, Delmas PD. Mechanisms of the anabolic effects of teriparatide on bone: insight from the treatment of a patient with pycnodysostosis. *J Bone Miner Res* 2008; 23: 1076–83.
15. Sornay-Rendu E, Cabrera-Bravo J-L, Boutroy S, Munoz F, Delmas PD. Severity of vertebral fractures is associated with alterations of cortical architecture in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 2009; 24: 737–43.
16. Boutroy S, Rietbergen B, Sornay-Rendu E, Munoz F, Bouxsein ML, Delmas PD. Finite element analysis based on in vivo HR-pQCT images of the distal radius is associated with wrist fracture in postmenopausal women. *J Bone Miner Res* 2008; 23: 392–9.
17. Burrows M, Liu DM, McKay HA. High-resolution peripheral QCT imaging of bone micro-structure in adolescents. *Osteoporos Int* 2010; 21: 515–20.
18. Varga P, Zysset PK. Assessment of volume fraction and fabric in the distal radius using HR-pQCT. *Bone* 2009; 45: 909–17.
19. Boutroy S, Bouxsein ML, Munoz F, Delmas PD. In vivo assessment of trabecular bone microarchitecture by high-resolution peripheral quantitative computed tomography. *J Clin Endocrinol Metab* 2005; 90: 6508–15.

20. Goldenstein J, Kazakia G, Majumdar S. In vivo evaluation of the presence of bone marrow in cortical porosity in postmenopausal osteopenic women. *Ann Biomed Eng* 2010; 38: 235–46.
21. Burghardt AJ, Kazakia GJ, Ramachandran S, Link TM, Majumdar S. Age and gender related differences in geometric properties and biomechanical significance of intracortical porosity in the distal radius and tibia. *J Bone Miner Res* 2009; DOI 10.1359/jbmr.091104.
22. Valentinitich A, Patsch J, Mueller D, Kainberger F, Langs G. Texture analysis in quantitative osteoporosis assessment. In: Deserno TM, Handels H, Meinzer H-P, Tolxdorff T (Hrsg). *Bildverarbeitung für die Medizin 2010 – Algorithmen – Systeme – Anwendungen (Informatik Aktuell)*. 1. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, 2010; 61–5.
23. Varga P, Baumbach S, Pahr D, Zysset PK. Validation of an anatomy specific finite element model of Colles' fracture. *J Biomech* 2009; 42: 1726–31.
24. Ulrich B, van Rietbergen B, Rüegsegger P. Load transfer analysis of the distal radius from in-vivo high resolution CT imaging. *J Biomech* 1999; 32: 821–8.

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](#)