Journal für
Mineralstoffwechsel
Zeitschrift für Knochen- und Gelenkserkrankungen
Orthopädie · Osteologie · Rheumatologie

2- und 3-dimensionale Knochenstrukturen in vivo und in vitro

Dambacher MA, Neff M, Qin L

Rüegsegger P

Journal für Mineralstoffwechsel & Muskuloskelettale Erkrankungen

2001; 8 (3), 26-33

Homepage:

www.kup.at/mineralstoffwechsel

Online-Datenbank mit Autoren- und Stichwortsuche

Member of the DOAJ

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

M. A. Dambacher, M. Neff, L. Qin, P. Rüegsegger

2- UND 3-DIMENSIONALE KNOCHENSTRUKTUREN IN VIVO UND IN VITRO

Summary

So far, only bone mass was available quantitatively. Bone structure was analyzed qualitatively with the help of high resolution 2D CT images (hpQCT – Densiscan 1000, Scanco Ltd., Zurich). Recently real 3D examinations became available in vivo and it is now possible to characterize quantitatively patients with such microarchitectural features as trabecular number, trabecular thickness, trabecular spacing and relative bone volume. We expect that such a characterization will give new insights in pathogenesis and treatment of osteoporosis and in the pitfalls of densitometric measurements and might improve predictions of individual fracture risk in normal subjects as well as in osteoporotics, in osteomalacia, beta-thalassaemia, primary and secondary hyperparathyreoidism, in osteogenesis imperfecta, and in anorexia nervosa.

INTERNATIONAL GÜLTIGE DEFINITION DER OSTEOPOROSE

Die Osteoporose ist eine systemische Erkrankung des Skeletts, die sich durch eine tiefe Knochenmasse und eine pathologisch veränderte Knochenmikroarchitektur auszeichnet. Dies hat eine erhöhte Frakturanfälligkeit zur Folge. Die Höhe der Ausgangsknochenmasse (peak bone mass), das Ausmaß und die Dauer des Knochenmasseverlustes bestimmen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Osteoporose. Entscheidende Parameter sind somit (Konsensus-Konferenzen Kopenhagen 1990, Hong Kong 1993, Amsterdam 1996, Chicago 2000):

- Knochenmasse
- Knochenmikroarchitektur
- Knochenmasseverluste

Abbildung 1: Hochauflösendes, peripheres quantitatives Computertomogramm (HrpQCT), DENSISCAN System.

GRUNDLEGENDES ZUR OSTEODENSITOMETRIE

Die Osteodensitometrie ist ein Hilfsmittel (!) in der Diagnose der Osteopenie/Osteoporose, wenn möglich vor Eintritt irreversibler Schädigungen am Skelett. Sie erlaubt die Abschätzung des individuellen skelettalen Osteoporoserisikos und die Objektivierung von Therapie(miß)erfolgen, ferner die Einteilung in „fast“ und „slow bone loser“-Patienten und damit eine individuelle, „maßgeschneiderte“ Therapie. Vom Potential her sind (Densitometrie-) Verfahren, die der alleinigen Diskriminierung Osteoporose/Nicht-Osteoporose dienen, von deutlich aufwendigeren Densitometriemethoden zu trennen, die eine Früherfassung Osteoporosegefährdeter Personen erlauben.

Verschiedene Densitometrieverfahren/-Programme lassen zusätzlich individuelle Verlaufs-/Therapiekontrollen innerhalb medizinisch akzeptabler Fristen zu, aber nur sehr vereinzelt auch in Fällen schwerer Osteoporosen. Das ideale Osteodensitometrieverfahren gibt Auskunft zur Knochenmasse (g/cm^3) sowie zur Knochenmikroarchitektur und erfaßt Veränderungen der Knochenmasse, auch bei verminderter Knochenmasse, mit hoher Konfidenz innerhalb 1 (bis max. 2) Jahren. Die meisten Osteodensitometriemethoden erlauben direkt oder indirekt Aussagen zur Knochenmasse, aber nicht zu den Strukturen (Mikroarchitektur). Viele sind für Verlaufsuntersuchungen, insbesondere für kurzfristige, wenig geeignet.

Es sei noch einmal festgehalten, daß das auch von uns verwendete hochempfindliche, bildgebende, periphere Computertomographiesystem das einzige ist, das alle Erfordernisse der international gültigen Osteoporose-Definition (Knochendichte, Verlust an Knochendichte und insbesondere Knochenstrukturen) abdeckt (Abb. 1). Die Tabelle 1 zeigt die Charakteristika der HrpQCT und die Abbildung 2 die Schnitte des Standard- und des Screening-Programmes.

Im folgenden soll nur auf die Knochenstrukturen, evaluiert mit dieser Methode, eingegangen werden. Die Wertigkeit der Knochenstrukturen zeigt ein einfaches Beispiel: Würde man aus dem Eiffelturm Verstrebun-

Tabelle 1: Hochauflösendes, peripheres quantitatives Computertomogramm (HrpQCT)

DENSISCAN 1'000 System, Scanco Ltd. Zürich, Schweiz: Charakterisierung	
Reproducibility:	± 0,3 % in mixed collectives
Parameters:	– Integral BMD (trab. + cort. bone) – Trabecular and cortical bone separately of the radius (and tibia) – 2D, 3D Bone Structures in vivo and in vitro

For personal use only. Not to be reproduced without permission of Krause & Pachernegg GmbH.
Homepage Journal für Mineralstoffwechsel: http://www.kup.at/mineralstoffwechsel

gen herausnehmen und an einem anderen Ort einfügen, dann leidet ganz sicher die Stabilität des Eiffelturms sehr darunter, obwohl die Stahlmasse die gleiche geblieben ist.

Zweidimensionale Knochenstrukturen und ihre Fallgruben

Die Abbildung 3 zeigt normale Strukturen im Radius und die Abbildung 4 osteoporotische Strukturen.

Beispiele für Fehlinterpretationen

Für die Harvard Medical Practice Study wurden 31.000 Krankengeschichten im Hinblick auf die Komplikationen (1,8–7,1 %) aufgearbeitet. Als häufigste Ursache der Komplikationen wurde die Nachlässigkeit (24,4–30 %) evaluiert. Ein solches Beispiel, bezogen auf die Osteodensitometrie, zeigt die Tabelle 2: Die dem behandelnden Arzt mitgeteilten Daten der proximalen Femurmessung zeigen erhebliche Veränderungen sowohl bezüglich der Zunahme wie bezüglich der Abnahme. Beim genauen Aufarbeiten der Daten (unterer Anteil der Tabelle) stellt sich heraus, daß für die Basismessung der linke Femur, für die Verlaufsmessung ohne zwingenden Grund der rechte Femur verwendet wurde, und dies in einem Osteologiezentrum!

Die Abbildung 5 läßt bei einer 72-jährigen Patientin mit Osteogenesis

Abbildung 2: Hochauflösendes, peripheres, quantitatives Computertomogramm (HrpQCT), DENSISCAN System. Links die Schnitte des Standard-Programmes, rechts die Schnitte des Screening-Programmes.

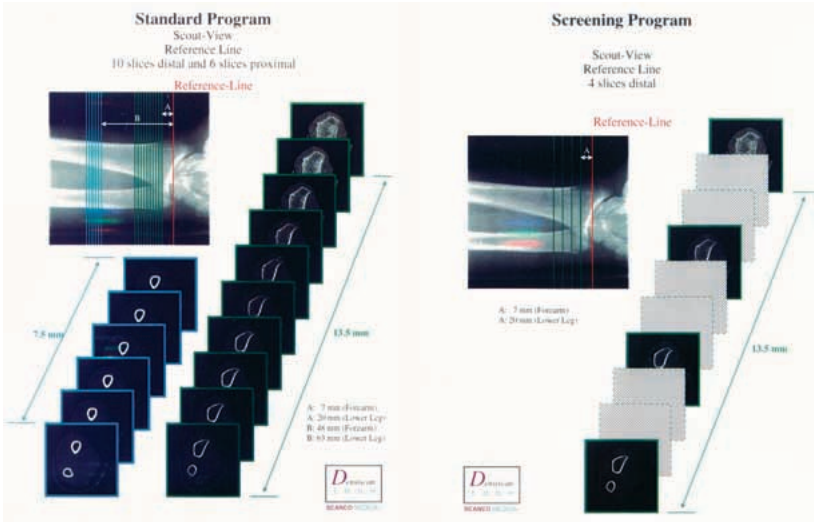


Tabelle 2: Für die Verlaufsmessung wurde der linke mit dem rechten Femur verglichen! (s. Text)

Neck – 7%	Wards Triangle –6%	Troch. +6%	Shaft +1.2%

Left Femour Bone Density			Right Femour Bone Density		
Acquired:	18.08.1998 11:25:02	(1.72)	Acquired:	26.10.2000 10:04:17	(1.72)
Analyzed:	18.08.1998 11:26:09	(1.72)	Analyzed:	26.10.2000 10:12:18	(1.72)
Printed:	07.11.2000 17:59:57	(1.72)	Printed:	07.11.2000 17:59:04	(1.72)
	d:\archiv\exp_data\kell1100.f02			d:\archiv\exp_data\kell1101.f02	

Abbildung 3: Normale Compacta- und Spongiosastrukturen, Radius distal.

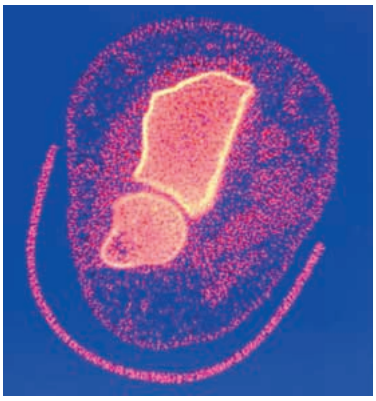


Abbildung 4: Osteoporose, Radius distal.

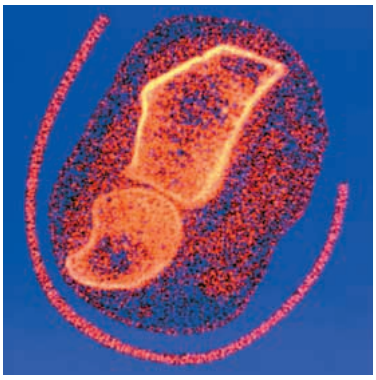


Abbildung 5: Radiusfraktur bei einer 72-jährigen Patientin mit Osteogenesis imperfecta vor mehr als 60 Jahren, der Dichtewert ist um 75 % höher als auf der anderen, nicht frakturierten Seite.

imperfecta eine Vorderarmfraktur erkennen, die mehr als 60 Jahre zurückliegt. Die vBMD weist einen Wert der Spongiosa von 105 % auf, während auf der rechten Seite, der nicht frakturierten, eine Spongiosadichte von 30 % gemessen werden kann. Die Abbildung 6 zeigt eine inkomplette Resorption der Corticalis während des „Dickenwachstums" bei einer jetzt 59-jährigen Frau, distale Tibia, man erkennt deutlich die „alte" Corticalis. Diese Artefakte haben die volumetrische Knochendichte auf 115 % im Vergleich zu jungen gesunden Erwachsenen (T-Score) angehoben.

Abbildung 6: Inkomplette Resorption der Corticalis während des Wachstums bei einer 59-jährigen Frau, distale Tibia. Die volumetrische BMD beträgt 115 % im Vergleich zu einer jungen Erwachsenen.

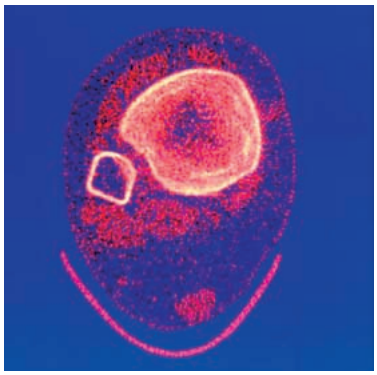


Abbildung 7: Rheumatoide Arthritis bei einer 52-jährigen Frau, die volumetrische BMD beträgt 125 % im Vergleich zu jungen gesunden Frauen.

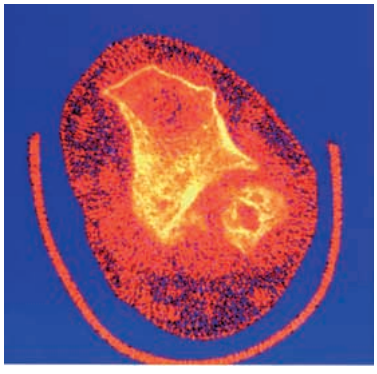


Abbildung 7 zeigt eine weitere „Fallgrube": Es handelt sich um eine 52-

Abbildung 8: Radius Basisstrukturen (s. Text)

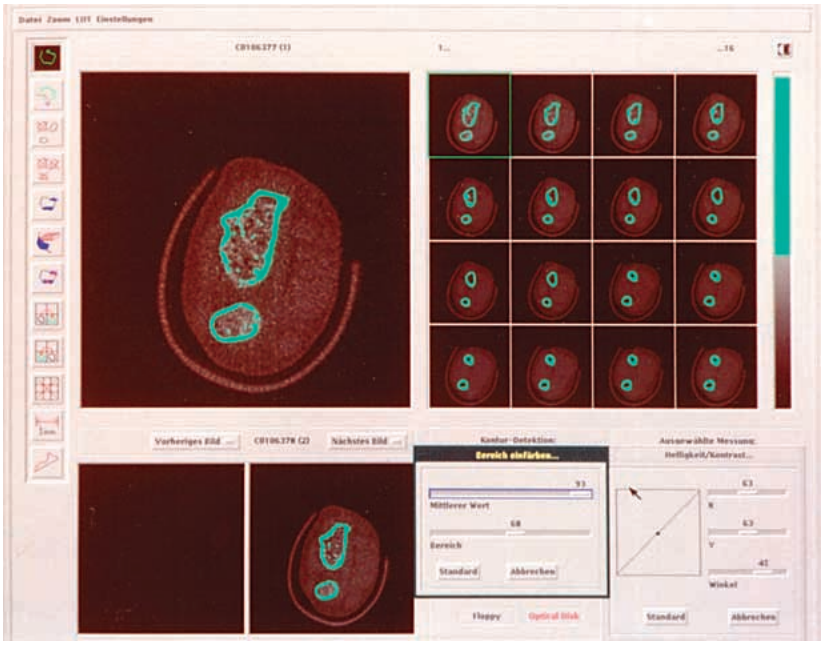
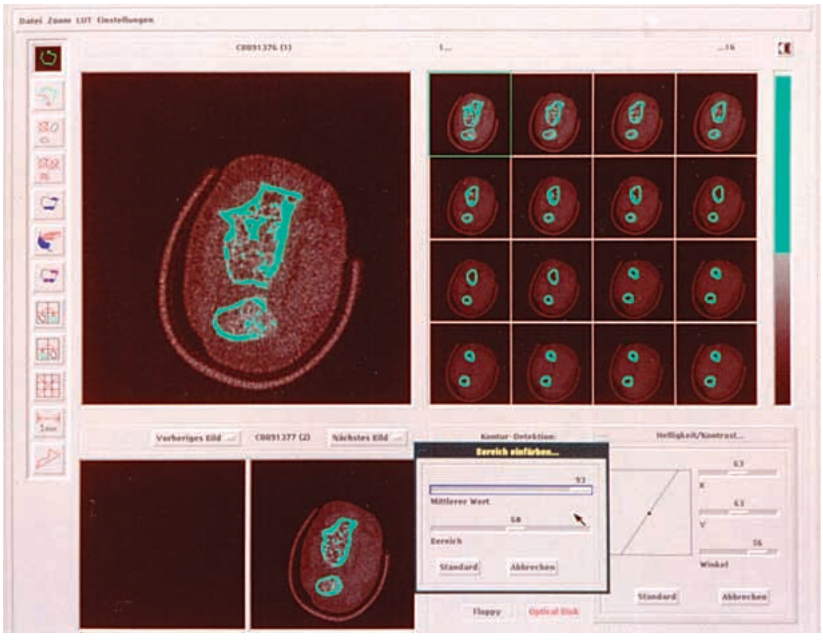


Abbildung 9: „Frakturen", die eine Zunahme der Knochendichte vortäuschen.



jährige Patientin mit rheumatoider Arthritis: Die Corticalis ist noch intakt, während die trabekuläre volumetrische BMD 125 % im Vergleich zu jungen gesunden Frauen aufweist.

Eine weitere „Fallgrube" sind heilende Mikrofrakturen, wie sie ja gerade bei der Fluorid-Medikation vorkommen können. Abbildung 8 zeigt die Basisstrukturen. Nach 16 Monaten ist es in Folge von (klinisch nicht relevanten) Mikrofrakturen zu einer Erhöhung der Knochendichte gekommen (Abb. 9). Die Heilung der Frakturen (Abb. 10) ergibt rechnerisch Spongiosawerte in einem „fast loser"-Zustand, während es sich in Wirklichkeit um einen „Rückgang" der Frakturen handelt.

Die Abbildungen 11a–c zeigen eine vorgetäuschte kontinuierliche Dichtezunahme als Folge von „Frakturen".

Hinweise auf pathogenetische Vorgänge

Abbildung 12 zeigt eine Unterbrechung der „connectivity" zwischen Compacta und Spongiosa (bei normalen Dichtewerten). Derartige Strukturunterbrechungen haben wir schon häufig bei der Osteogenesis imperfecta gesehen.

Abbildung 10: Rückgang der „Frakturen", was rein rechnerisch als fast loser-Zustand fehlinterpretiert wurde.

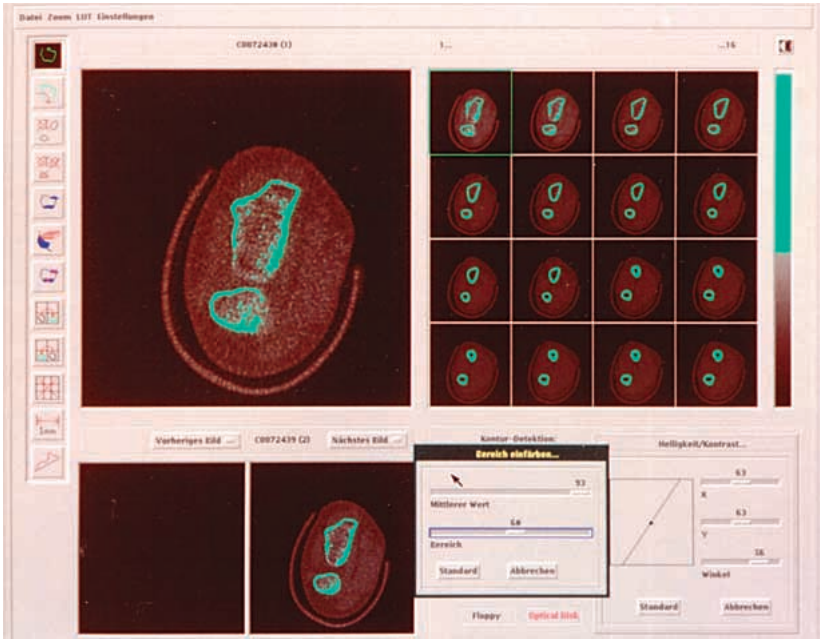


Abbildung 12: Osteogenesis imperfecta, bei der die „connectivity" zwischen Spongiosa und Compacta unterbrochen ist.

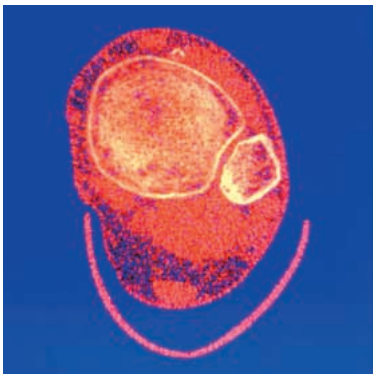


Abbildung 11a–c: zeigen das gleiche Phänomen, jedoch mit einer kontinuierlichen Dichtezunahme

Dichteunregelmäßigkeiten (Abb. 13) innerhalb der Spongiosa sind typisch für die Algodystrophie, sie finden sich jedoch auch bei der CP. In Abbildung 14 erkennt man eine Reduktion der Spongiosa bei Kortikoidmedikation, während die Abbildung 15 eine Auflösung der Compacta bei einem primären Hyperparathyreoidismus zeigt. Die Patientinnen beider Abbildungen (Abb. 16a+b) wiesen identische Dichtewerte auf, nämlich 78% und 76%. Die Strukturen der Abbildung 16a sind normal, während diejenigen der Abbildung 16b spongiöse Unregelmäßigkeiten zeigt. Dies bedeutet, daß bei der Patientin der Abbildung 16a weniger aggressiv vorgegangen werden muß, als bei der Patientin der Abbildung 16b (s. oben das Beispiel „Eiffelturm").

Das gleiche Phänomen zeigen die Abbildungen 17a+b, bei einer spongiösen Knochendichte von 104 bzw. 107%.

Dreidimensionale Knochenstrukturen in vitro

Hier verwenden wir ebenfalls ein QCT-System und zwar das Mikroto-

Abbildung 13: Unregelmäßige Strukturen bei der Algodystrophie, entsprechen einer fleckförmigen Demineralisierung.

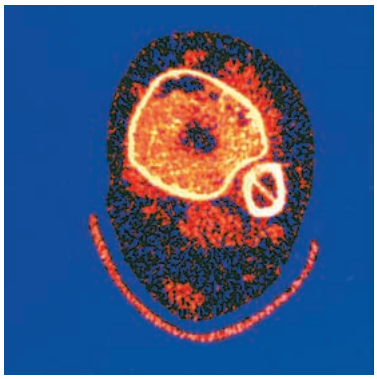


Abbildung 15: Primärer Hyperparathyreoidismus, hier finden sich vorwiegend Auflockerungen der Compacta.

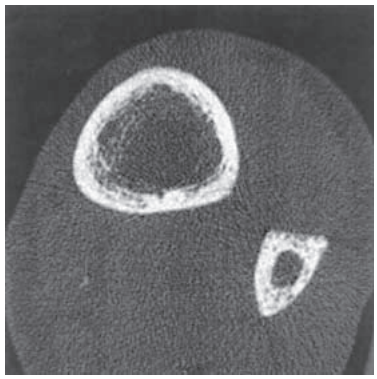


Abbildung 14: Bei der Kortikoid-induzierten Osteoporose ist vorwiegend die Spongiosa betroffen, im Gegensatz zu Abb. 15.

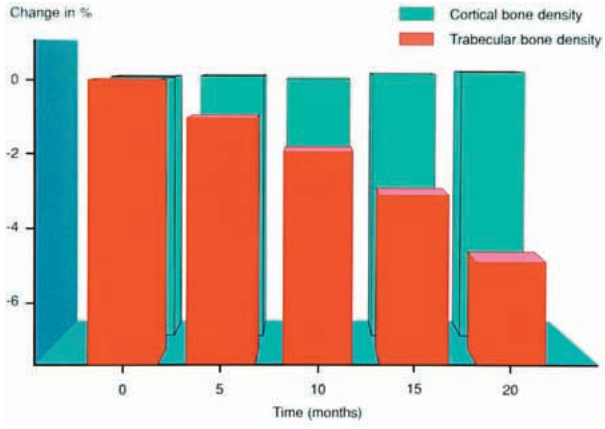


Abbildung 16a+b: Die Patientin der Abbildung 16a und die Pat. der Abb. 16b zeigen praktisch die gleichen volumetrischen Spongiosadichten, nämlich 78% bzw. 76%. Bei der einen Patientin finden sich normale, bei der anderen Patientin aufgelockerte Spongiosastrukturen.

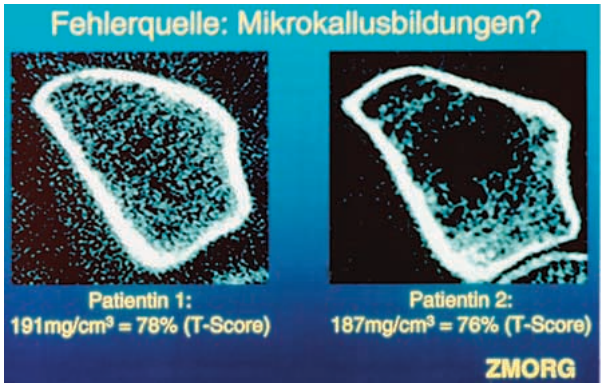
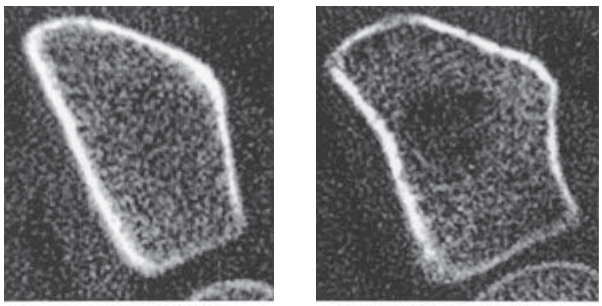


Abbildung 17a+b: Zeigen das gleiche Phänomen, bei normalen Knochendichten 104% bzw. 107%.



Patientin 3: 104%
Dichte: 254mg/cm^3
weiblich, 57 Jahre

Patientin 4: 107%
Dichte: 263mg/cm^3
weiblich, 60 Jahre

Abbildung 18: Micro-CT20-System (japanische Version), links oben Knochenzylinder.

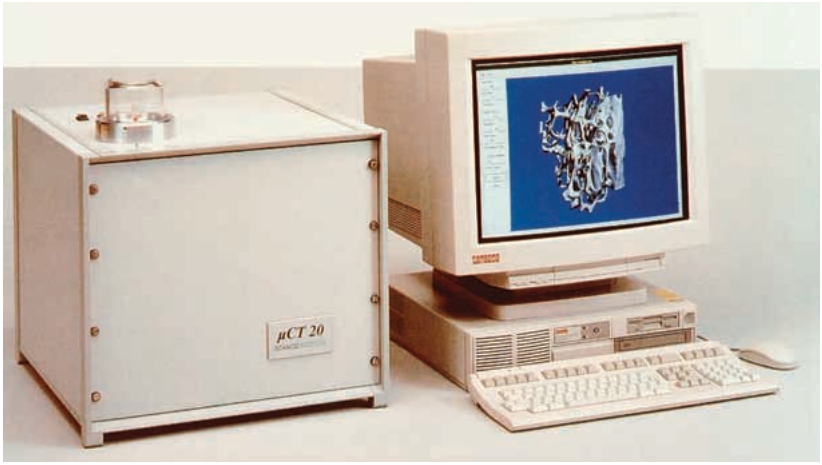


Abbildung 19a + b: 3-dimensionale Darstellung der trabekulären Strukturen bei einer 24-jährigen und bei einer 85-jährigen Frau (Micro-CT20-System). Beide Biopsien stammen von der Wirbelsäule (L2), unten sind jeweils die trabekulären 3D-Parameter aufgezeichnet.

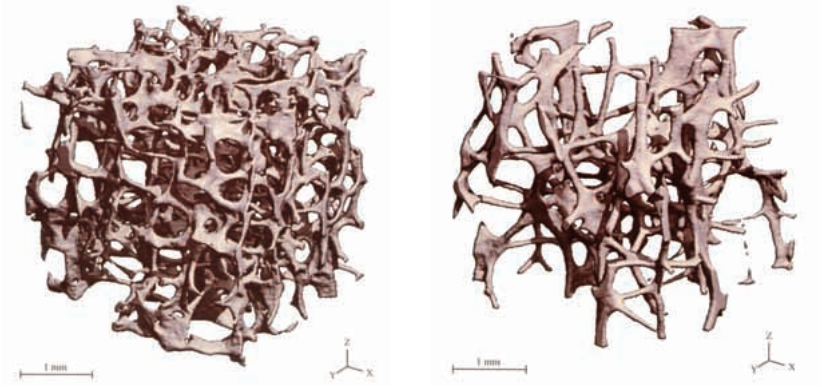
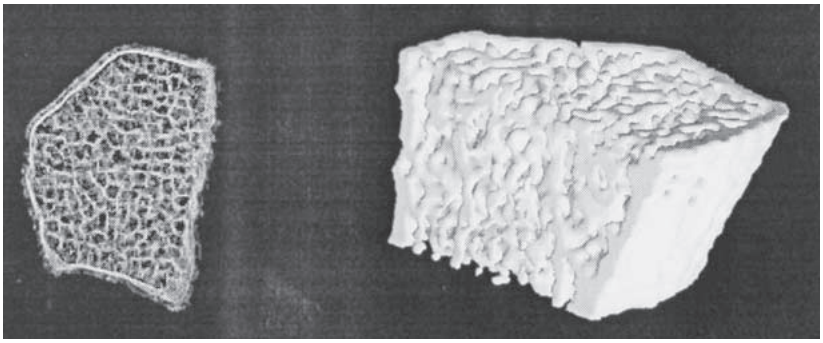


Abbildung 20: Darstellung der trabekulären Strukturen bei einer Patientin mit primärem Hyperparathyreoidismus und deutlich erhöhter trabekulärer Knochendichte.



mographiesystem µCT 20, 40 und 80 der Scanco Medical AG, Bassersdorf, Schweiz, für die dreidimensionale Darstellung und die nicht destruktive morphometrische Evaluierung der trabekulären Knochenarchitektur (Auflösung in allen Richtungen 9–30 µm (10% MTF), 5–40 µm nominal (Pixel)) bei Knochenbiopsien. Als morphometrische Parameter können bestimmt werden, das trabekuläre Knochenvolumen, die trabekuläre Knochenoberfläche, Anzahl der Trabekel, trabekuläre Dicke und der trabekuläre Abstand (Abb. 18, 19a+b).

Dreidimensionale Darstellung der Knochenstrukturen in vivo

Neuerdings ist es möglich, 3D-Darstellungen der Spongiosa auch beim

Abbildung 21: 3D-Darstellung bei einer Patientin mit einer Spongiosadichte von 0%.

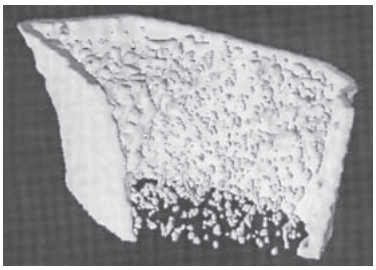
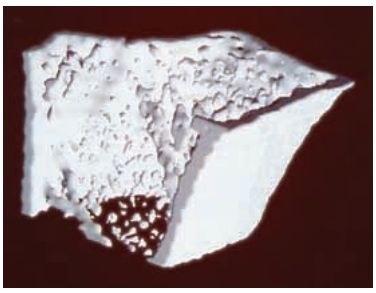


Abbildung 22: Hier lassen sich deutlich Reste der früher durchgemachten Radiusfraktur erkennen.



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**