

Berichte aus dem Institut für Medizinische Physik  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Band 12

**Yan Kang**

**3D Quantitative Computed Tomography (QCT)  
of the Proximal Femur**

D 29 (Diss. Universität Erlangen-Nürnberg)

Shaker Verlag  
Aachen 2003

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

*Kang, Yan:*

3D Quantitative Computed Tomography (QCT) of  
the Proximal Femur / Yan Kang.

Aachen : Shaker, 2003

(Berichte aus dem Institut für Medizinische Physik  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg ; Bd. 12)

Zugl.: Erlangen-Nürnberg, Univ., Diss., 2002

ISBN 3-8322-1403-8

Copyright Shaker Verlag 2003

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior permission of the publishers.

Printed in Germany.

ISBN 3-8322-1403-8

ISSN 1616-0142

Shaker Verlag GmbH • P.O. BOX 101818 • D-52018 Aachen

Phone: 0049/2407/9596-0 • Telefax: 0049/2407/9596-9

Internet: [www.shaker.de](http://www.shaker.de) • eMail: [info@shaker.de](mailto:info@shaker.de)

# Summary

## Background

Osteoporotic hip fractures, which are common in the elderly population, severely increase mortality and morbidity. Osteodensitometry is often used to diagnose osteoporosis and to predict the risk of fracture.

Several methods are available to measure bone density. DXA is currently the most widely used technique but only QCT can provide true volumetric density separately in trabecular and cortical bone. This is a significant advantage because trabecular bone is more metabolically active than compact bone and responds earlier to a stimulus such as estrogen deficiency.

Unfortunately so far QCT is only available for spine measurements, not for the hip although a few research initiatives reported progress for hip QCT. A major obstacle of using 3D QCT is the lack of a 3D analysis method due to the complex anatomic structure of the proximal femur. The technical difficulties of 3D image analysis include (1) a 3D segmentation approach, (2) a reproducible reference coordinate system for BMD measurement, and (3) a practical way to perform the 3D analysis.

## Methods

In this study, we developed a 3D segmentation approach and used the concept of the neck coordinate system from Heitz [33], which we significantly improved with respect of accuracy and computational efficiency. We further integrated all these procedures into a clinical software tool for the 3D assessment of densitometrical and geometrical parameters of the proximal femur.

Our 3D segmentation approach is a hybrid region-growing based approach. It includes an automatic estimation of global and local thresholds, automatic hole-filling, and surface adjusting procedures. The segmentation of periosteal and endosteal surfaces are both integrated and performed in a fully automatic fashion after the femoral head sphere is positioned and two seed points are given manually. The segmentation approach is very flexible due to several interactive tools specifically designed here for 3D editing.

An optimization approach in 3D space was implemented to automatically determine the NCS for the anatomic structure of the proximal femur. Several VOIs were defined for the measurements of BMD, BMC, volume, and cortical thickness. Trabecular and cortical bone are measured separately.

We investigated the reproducibility of the image analysis and the impact of different acquisition and image reconstruction protocols. The measurement results from two selected protocols, a “high dose” and a “low dose” protocol, were compared to each other.

## Results

Our 3D segmentation approach shows several attractive characteristics: it is (1) not sensitive to user-defined thresholds, (2) highly automated, (3) robust to noise, (4) sufficiently fast, and (5) several flexible interaction tools are available. The only manual

interactions necessary are positioning the femoral head sphere and the selection of two seed points. Fully automatic approaches are successfully employed to determine the NCS with high reproducibility and to define the slice VOI and the neck VOI.

The investigation of reproducibility showed: (1) high precision and (2) observer independence. Typical CV values in the slice VOI were 0.28%, 1.70%, and 0.97% for total, trabecular, and cortical BMD. And 0.26%, 0.36%, and 1.07% for total, trabecular, and cortical volume. Cortical thickness and the position of the NCS origin showed sub-voxel precision.

For trabecular BMD measurements, we suggest to use a “low dose” protocol, that is to use lower mAs settings during acquisition. To offset the enhanced noise that makes the segmentation more difficult we suggest to use a thicker effective slice of 3 mm during image reconstruction. A thinner effective slice is necessary for cortical measurements. With the proposed “low dose” protocol the radiation exposure can be reduced by about 75% without a change of trabecular BMD values and BMD precision.

## **Conclusions**

We developed a fully 3D image analysis approach to realize 3D QCT of the proximal femur. We integrated the innovative approach into a user-friendly PC-based software tool for the analysis of (spiral) QCT data. It is highly automated, fast, robust to noise, and requires only minor user interaction. The analysis results showed promising characteristics for clinical use: high reproducibility and independence of observers. The fully 3D segmentation approach itself can be used directly or adapted with minor changes to segment other anatomic structures in other medical applications.

# **Zusammenfassung**

## **Grundlagen**

Osteoporose ist eine der bedeutendsten epidemiologischen Erkrankungen älterer Menschen. Die schwerwiegendste Manifestation der Osteoporose sind Frakturen des proximalen Oberschenkelknochens. In der Diagnostik der Osteoporose wird die Osteodensitometrie oft zur Frakturrisikovorhersage eingesetzt.

Verschiedene Methoden zur Messung der Knochendichte sind verfügbar. Die DXA ist zur Zeit die weltweit meist verwendete Technik, aber nur die QCT ermöglicht wahre Volumendichtemessungen getrennt für trabekulären und kortikalen Knochen. Dies ist ein bedeutender Vorteil, weil trabekulärer Knochen metabolisch aktiver als kompakter Knochen ist.

Unglücklicherweise ist die QCT derzeit nur für Wirbelsäulen-Messungen, nicht aber für die Hüfte verfügbar, obwohl einige Forschungsarbeiten über Fortschritte bei Hüft-QCT-Messungen berichten. Das Haupthindernis der Anwendung von 3D QCT ist das Fehlen einer 3D Analysemethode, die der komplexen anatomischen Struktur des proximalen Oberschenkelknochens gerecht wird. Die technischen Schwierigkeiten einer 3D Bildanalyse beinhalten (1) 3D Segmentierung, (2) reproduzierbare anatomische Referenz-Koordinatensysteme und (3) Definition geeigneter Auswertevolumina.

## **Methoden**

In dieser Arbeit entwickelten wir ein 3D Segmentierungskonzept, vereinfachten, optimierten und implementierten das Konzept des Schenkelhals-Koordinationssystems (NCS) von Heitz [33], das die Oberschenkelknochenanatomie repräsentiert. Wir integrierten alle diese Verfahren in ein klinisch nutzbares Software-Tool zur 3D Messung der Dichte und geometrischer Parameter des proximalen Femurs.

Die innovativen Charakteristika unseres 3D Segmentierungskonzeptes liegen darin, dass keine genauen Anfangsbedingungen durch den Benutzer vorgegeben werden müssen. Die Segmentierung von periostaler und endostaler Oberfläche ist vollautomatisch, sobald der Kopf des Oberschenkelknochens identifiziert ist und zwei Ausgangspunkte für Femur und Acetabulum manuell vorgegeben werden. Benutzerinteraktion mit Hilfe interaktiver Werkzeuge zur 3D Editierung ist möglich, um Segmentierungsfehler effektiv korrigieren zu können. Verschiedene VOIs wurden für die Messungen von BMD, BMC, Volumen, und kortikaler Dicke definiert. Die trabekulären und kortikalen Anteile wurden mit Hilfe von 3D Segmentierungsergebnissen getrennt bestimmt.

Wir untersuchten die Reproduzierbarkeit der Bildanalyse und die Wirkung einiger tomographischer Rekonstruktionsparameter, die Messergebnisse hoher und niedriger Dosisprotokolle wurden miteinander verglichen. Eine erweiterte Rauschanalyse wurde durchgeführt, um die Limitation unserer Segmentierung und der 3D Bildanalyse des proximalen Oberschenkelknochens zu ermitteln.

## **Ergebnisse**

Unser 3D Segmentierungskonzept zeigt verschiedene attraktive Charakteristika: (1) keine subjektiv gewählten Grauwert-Schwellen, (2) hoch automatisiert, (3) stabil

gegenüber Rauschen, (4) ausreichend schnell, (5) flexible interaktive Tools. Aber es ist noch notwendig, die Lage des Oberschenkelkopfes durch eine Kugel manuell zu positionieren.

Vollautomatische Algorithmen wurden erfolgreich zur Bestimmung des NCS und zur Definition der VOIs entwickelt. Insbesondere die Schenkelhals-VOI wird vollautomatisch gefunden. Die Ermittlung der Reproduzierbarkeit zeigt (1) hohe Präzision und (2) Unabhängigkeit vom Beobachter. Der typische Variationskoeffizient in der Scheiben-VOI war 0,28% für gesamte, 1,70% für trabekuläre und 0,97% für kortikale Mineraldichte (BMD) sowie 0,26% für gesamtes, 0,36% für trabekuläres und 1,07% für kortikales Volumen. Die kortikale Dicke und die Position des Schenkelhalskoordinatensystems zeigte sub-Voxel Präzision.

Für die Bestimmung trabekulärer Mineraldichte kann ein „Niedrigdosisprotokoll“ verwendet werden, bei dem mit niedrigeren mAs während der Akquisition gearbeitet wird. Zum Ausgleich wird während der Rekonstruktion mit 3 mm Schichten gearbeitet. Für kortikale Messungen ist jedoch eine geringere Schichtdicke (1 mm) notwendig. Mit dem vorgeschlagenen „Niedrigdosisprotokoll“ kann die Strahlendosis um ca. 75% reduziert werden, ohne die trabekulären BMD Werte und deren Präzision zu ändern.

### **Schlussfolgerung**

Wir entwickelten eine 3D Bildanalyse für 3D QCT des proximalen Femurs. Wir integrierten einen innovativen Ansatz in ein benutzerfreundliches PC-Softwaretool zur Analyse von Spiral-QCT-Daten. Die Software ist hoch automatisiert, schnell, sehr robust gegenüber Rauschen, und sie erfordert nur kleinste Einflussnahme durch den Anwender. Das Ergebnis zeigt vielversprechende Charakteristika zum klinischen Gebrauch: Hohe Reproduzierbarkeit und Unabhängigkeit vom Beobachter. Die 3D Segmentierungsnäherung selbst kann mit wenigen Veränderungen direkt für andere anatomische Strukturen verwendet oder adaptiert werden.