

Mikrotomographische Untersuchung von spongiösen Knochenstrukturen

Hildebrand T., Rügsegger P.

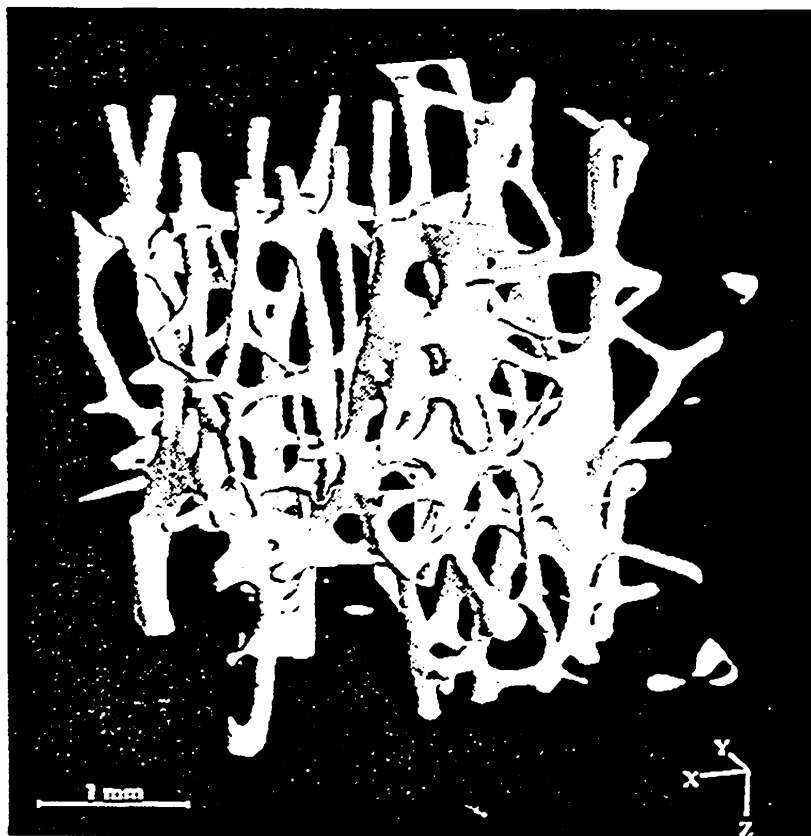
Institut für Biomedizinische Technik und Medizinische Informatik
Universität und ETH Zürich, CH-8044 Zürich, Schweiz

EINLEITUNG:

Die Spongiosa bildet ein Gerüstwerk im Innern des Knochens, bestehend aus platten- und stabähnlichen Strukturen. Bei Osteoporose werden diese Strukturen sukzessiv abgebaut, was ohne Behandlung zu komplizierten Frakturen und schliesslich zur Invalidität führen kann. Um den Aufbau und die Funktion der Spongiosa besser zu verstehen, ist eine genaue Abbildung der Struktur von grosser Bedeutung. Zu diesem Zweck wurde ein spezieller Mikro Computer Tomograph (μ CT) entwickelt, mit welchem es möglich ist, Knochenbiopsien mit einer sehr hohen Auflösung dreidimensional zu messen. Für die Analyse der gemessenen drei-dimensionalen Bilddaten wurden Algorithmen zur Bestimmung von verschiedenen Strukturparametern entwickelt. Somit lässt sich die komplexe Architektur der Spongiosa quantifizieren, was eine Untersuchung des Umbauprozesses möglich macht. Da die Festigkeit eine sehr wichtige Eigenschaft von Knochen ist, wurden ausserdem Methoden entwickelt, um die Stabilität der Struktur mit der Finiten Element Analyse (FE) auszuwerten.

METHODE:

Mit dem μ CT können Proben mit einem Durchmesser von maximal 18 mm bei einer Auflösung von 28 μ m gemessen werden. Typischerweise wird ein "Volume of Interest" von $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ mit $14 \times 14 \times 14 \mu\text{m}^3$ grossen Voxeln ausgewählt und ausgewertet.

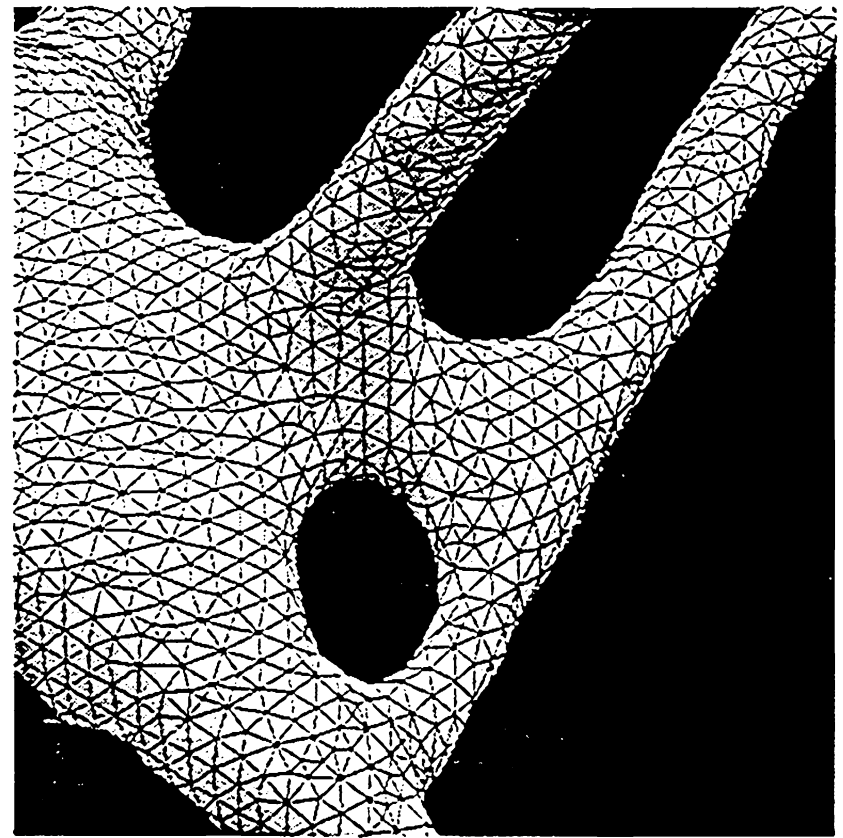


Figur 1: μ CT-Bild der trabekulären Struktur eines lumbalen Wirbelkörpers

Aus dem ausgewählten Grauwert-Volumen werden die trabekulären Strukturen unter Verwendung von dreidimensionalen Segmentierungsalgorithmen extrahiert. Durch Triangulation der Oberfläche kann die so segmentierte Struktur dargestellt werden (Fig. 1).

Für die quantitative Auswertung werden histomorphometrische Parameter von der drei-dimensionalen Struktur direkt abgeleitet. Wichtige Parameter sind dabei: Relatives Knochenvolumen, Grösse der Oberfläche, Strukturdicke und Separation der Trabekel.

Um die Festigkeit mit der FE Analyse bestimmen zu können, muss die Struktur in finite Elemente unterteilt werden. Zu diesem Zweck wurde ein Vernetzungsalgorithmus entwickelt, mit welchem es möglich ist, die Struktur mit Tetraederelementen vollautomatisch zu beschreiben (Fig. 2). Aufgrund der hohen Auflösung werden über eine Million Elemente erzeugt, um ein $5 \times 5 \times 5 \text{ mm}^3$ grosses Gebiet zu vernetzen, was eine sehr hohe Rechenleistung bei der Analyse erfordert.



Figur 2: Automatische Vernetzung der drei-dimensionalen Trabekelstruktur.

DISKUSSION:

Mit dem μ CT können die Zusammenhänge zwischen Strukturparameter und Festigkeit untersucht werden. Dadurch wird es möglich, von morphometrischen Parametern, stammend von *in vivo* CT-Messungen, auf die Stabilität des Knochens zu schliessen. Mit dieser Information könnten frakturgefährdete Patienten frühzeitig erkannt werden.