

QUANTIFIZIERUNG DER SPONGIOSADICHTE AN RÖHRENKNOCHEN MITTELS COMPUTERTOMOGRAPHIE

ABHANDLUNG

zur Erlangung

des Titels eines Doktors der technischen Wissenschaften

der

**EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN
HOCHSCHULE ZÜRICH**

vorgelegt von

URS ELSASSER

Dipl. Masch.-Ing. ETH

geboren am 27. Februar 1947

von Aarau (AG)

Angenommen auf Antrag von

Prof. Dr. M. Anliker, Referent

Prof. Dr. P. Profos, Korreferent

Zürich

1977

ZUSAMMENFASSUNG

Die bislang genaueste Methode den Grad der Knochenmineralisation im menschlichen Skelett oder Teilen davon nicht traumatisierend zu bestimmen, ist die an Extremitäten durchgeführte Photonenabsorptionsmessung nach Cameron. Die Sensitivität der Photonenabsorptiometrie bleibt jedoch methodisch bedingt in vielen Fällen ungenügend, insbesondere wenn es darum geht, langsame Mineralisationsänderungen kurzfristig zu erfassen.

Eine Methode zur Detektion kleinster Veränderungen der Mineralisation sollte eine differenzierte Beobachtung des spongiösen und des kompakten Knochens zulassen. Deshalb wurde ein Messsystem aufgebaut, das mit Hilfe der Methoden der Computertomographie die digitale Rekonstruktion von Knochenquerschnitten in Extremitäten, insbesondere im Vorderarm, erlaubt: Das Objekt wird von einem Präzisions-scanner mit einem eng kollimierten γ -Strahl unter 48 Winkeln intervallweise abgetastet. Aus den 48 Projektionen der abgetasteten Querschnittsebene wird die Mineralverteilung innerhalb des Objektes mittels eines Konvolutionsalgorithmus rekonstruiert, und die resultierende Matrix von 128×128 lokalen linearen Absorptionskoeffizienten wird als Tomogramm grafisch dargestellt. Der Einsatz des Radionucleides J^{125} als Strahlungsquelle mit annähernd monoenergetischem Spektrum und die Anwendung einer Strahlhärtingkorrektur auf die Transmissionsdaten ermöglicht, die Mineralverteilung auf Grund der Absorptionskoeffizientenmatrix absolut zu quantifizieren. Zudem bleibt die Strahlenbelastung mit weniger als 5 mRad pro Tomogramm für den Patienten unbedenklich.

Um die Interpretation der Tomogramme zu objektivieren, werden folgende Messgrößen berechnet: totale Knochenquerschnittsfläche, mittlerer lin. Absorptionskoeffizient des Knochens, Gesamtabsorption, radialer Dichteverlauf, d.h. mittlerer lin. Absorptionskoeffizient für aequidistant zum äusseren Knochenrand verlaufende Ringe von der Breite eines Bildelementes, sowie mittlerer lin. Absorptionskoeffizient aller von diesen Ringen umrandeten Teilflächen. Als Spongiosadichte wird der mittlere lin. Absorptionskoeffizient einer Teilfläche im Umfang von 50% der Knochenquerschnittsfläche, gemessen im distalen Teil des Radius, definiert. Modellstudien sowie wiederholte Messungen an gesunden Probanden ergaben für die Genauigkeit und die Reproduzierbarkeit der Methode Werte in der Größenordnung von 2%.

Untersuchungen an normalen Kindern und Erwachsenen im Alter von 4 bis 40 Jahren zeigen, dass die Spongiosadichte im Gegensatz zu andern Mineralisationsparametern weder vom Alter noch vom Geschlecht abhängig ist. Die interindividuelle Streuung ist jedoch wie bei den meisten physiologischen Parametern beträchtlich, was sich in einem Variationskoeffizienten von rund 15% ausdrückt.

Osteosklerose mit Spongiosadichtewerten 3 Standardabweichungen über dem normalen Mittel wurde bei neun Kindern mit chronischer Niereninsuffizienz gefunden. Vier Kinder mit Phosphatdiabetes zeigten eine deutlich vergrößerte Querschnittsfläche im diaphysären Bereich des Radius, woraus signifikant verminderte Werte für den Quotienten aus Gesamtabsorption und Querschnittsfläche resultieren. 3- bis 4-wöchige lokale Immobilisation in der Folge einer einseitigen Armfraktur bewirkt eine Reduktion der Spongiosadichte von 10% bis 45%, während die Abnahme des totalen Mineralgehaltes im Radiuschaft bei wenigen Prozenten bleibt. Die Remineralisation des Knochens beginnt innerhalb von Tagen nach Beendigung der Immobilisation und hat einen Anstieg der Spongiosadichte von mehreren Prozenten pro Woche zur Folge.

ABSTRACT

Trabecular bone is claimed to show changes in mineralization much faster than cortical bone, so a method for detection of minute alterations in mineralization must allow for separate quantification of compact and spongy bone. Therefore a precision scanning instrument was constructed for the clinical application of computed tomography for bone mineral analysis in sections of extremities. From 48 γ -ray projections of the object, e.g. a forearm, the mineral distribution in the plane of the scans is calculated by means of a convolution algorithm. The resulting matrix of 128x128 local linear absorption coefficients is graphically represented in the form of a tomogram.

On the basis of the calculated matrix values different parameters can be derived, such as total cross sectional area of the bone, relative cortical area and trabecular bone density (TBD). By using an isotope source (125-iodine) and correcting the transmission data for beam hardening, accuracy and reproducibility of the method are on the order of 2%.

Studies on normal children and adults in the age range 4 to 40 years show that in contrast to other parameters TBD does not correlate significantly with age or sex. Osteoscleroses of the spongiosa with TBD values 3 standard deviations above the normal mean was consistently found in 9 children with chronic renal failure while other mineralization parameters are normal. In 4 children with Vit D resistant hypophosphatemic rickets the cross sectional area of the radius is enlarged by 30 to 50% above the normal mean. - 3 to 4 weeks of local immobilization lead to a 10 to 45% reduction of TBD in the distal region of the forearm whereas the decrease of total mineral content in the diaphyseal area is only a few percents. Remineralization in terms of TBD increase takes place within weeks after removal of the immobilizing plaster cast at a rate of up to several percents per week.