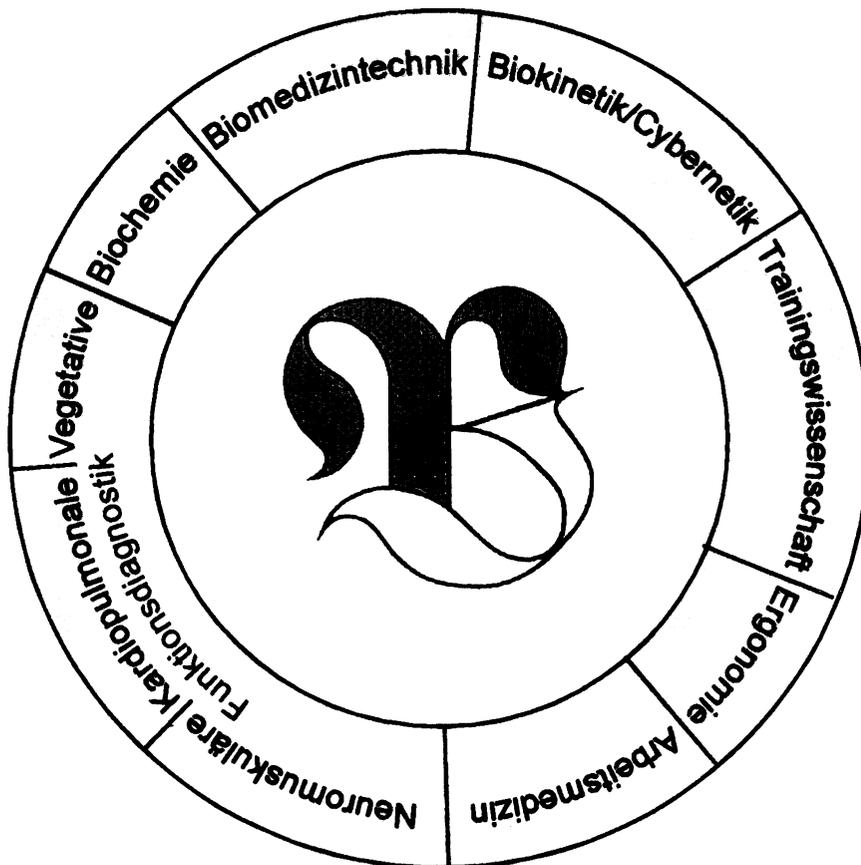


# SPORTMEDIZIN

OFFIZIELLES ORGAN  
DEUTSCHER SPORTÄRZTEBUND E. V.  
FORTBILDUNGSORGAN DES VERBANDES  
ÖSTERREICHISCHER SPORTÄRZTE



**S**

**94**

**Europäisches Institut für angewandte  
medizinische Forschung und Lehre**

**SONDERHEFT**

**I. Europäisches Symposium**

# INHALT

<p>           Schubert E., W. Laube:            Physiologische und pathophysiologische Aspekte zur Beschreibung des vegetativen Funktionszustandes im kardiopulmonalen System . . . . .         </p>	4	<p>           Bochdansky, Th.:            Zur Rehabilitation von Kniegelenkverletzungen . . . . .         </p>	37
<p>           Abel, H.-H. et al.:            Kardiorespiratorische Funktionsdiagnostik und Trainingssteuerung . . . . .         </p>	8	<p>           Dreßler, F., W. Laube:            Möglichkeiten zur Diagnostik degenerativer Veränderungen des Knorpel- und Gelenkstoffwechsels mittels biochemischer Parameter im Blut und Urin — Ein kurzer Überblick . . . . .         </p>	39
<p>           Laube, W., J. Martin:            Die vegetativ-chronotrope Herzfrequenzvariabilität als Screening für die neuromuskuläre Ermüdung nach intensiven und ausdauernden Belastungen . . . . .         </p>	10	<p>           Bringmann, W.:            Therapiesport bei Hypertonie, Hypotonie und peripheren Durchblutungsstörungen . . . . .         </p>	41
<p>           Winter, U. J. et al.:            Ergospirometrische Befunde bei Normalpersonen und bei Herzinsuffizienz-Patienten . . . . .         </p>	12	<p>           Prokop, L.:            Das Übertraining in der Bewegungstherapie . . . . .         </p>	44
<p>           Kothe, K., A. Förster, R. Aurisch:            Modifizierung der Bewegungstherapie bei unterschiedlichen Herz-Kreislauf-Krankheiten . . . . .         </p>	14	<p>           Güth, V.:            Präoperative Funktionsuntersuchungen an Patienten mit Skelettfehlern im Bereich der Hüftgelenke . . . . .         </p>	46
<p>           Beneke, R. et al.:            Blutlaktatkonzentration, Herzfrequenz und Beanspruchungsempfinden bei Ruder- und Fahrradergometrie . . . . .         </p>	16	<p>           Börnert, K., A. Dippold:            Diagnostik und Therapie der neuromuskulären Funktionsstörung am Kniegelenk . . . . .         </p>	49
<p>           Laube, W. et al.:            Quantitative Beschreibung des neuromuskulären Funktionszustandes — Basis neurophysiologisch gestützter Therapie und Therapiekontrolle . . . . .         </p>	18	<p>           Zwick, E. B., E. Ernst:            Elektromyographische Koordinationsanalysen beim Gehen mit Unterarm-Stützkrücken . . . . .         </p>	50
<p>           Putz, R., M. Müller-Gerbl:            Knorpeldicke und subchondrale Knochendichte als morphologische Parameter der Beanspruchung der großen Gelenke . . . . .         </p>	20	<p>           Cabri, J. M. H., J. P. Clarys, W. Laube:            Zur Spezifität der isokinetischen Belastung im Sport . . . . .         </p>	52
<p>           Eggli, D.:            Training und Messung an isokinetischen Systemen — Das Problem der Gelenkeinheit . . . . .         </p>	22	<p>           Banzer, W.:            Thermodiagnostik und Kraftmessung als dynamische Indikatoren des Rehabilitationsverlaufs nach Kniebandverletzungen . . . . .         </p>	54
<p>           Felder, H.:            Bestimmung der Antagonistentätigkeit am Beispiel der Kniestreckung: Eine neue Möglichkeit zur muskulären Zustandsdiagnostik und zur Krafttrainingssteuerung . . . . .         </p>	24	<p>           Hesse, S., K. H. Mauritz:            Validisierung in der neurologischen Rehabilitation . . . . .         </p>	56
<p>           Freiwald, J. et al.:            Isokinetische und isometrische Funktionsdiagnostik zur Konkretisierung von Therapie- und Trainingsplänen . . . . .         </p>	26	<p>           Weber, H.:            Das Hand- und Fingerdynamometer HFD 200 — Ein neues Gerät zur Leistungsdiagnostik und Trainingsbehandlung der Hand und der einzelnen Finger . . . . .         </p>	58
<p>           Eckhardt, R. et al.:            Elektromyographische Untersuchungen im Rahmen der Gang- und Bewegungsanalyse . . . . .         </p>	28	<p>           Engelke, K. et al.:            Akustisches Feedback als Therapiekonzept nach Fußrekonstruktionen . . . . .         </p>	60
<p>           Bachl, N. et al.:            Charakterisierung des funktionellen Muskelstatus mittels EMG und translatorischer Ergometrie in Schwereelosigkeit . . . . .         </p>	30	<p>           Portero, P., D. Gamet:            Quantitative Bewertung von Muskelermüdung im Bereich des Trainings und der Erholungsphase . . . . .         </p>	63
<p>           Hamar, D. et al.:            Maximale Zugkraftentwicklung bei verschiedenen Geschwindigkeiten auf dem Laufband . . . . .         </p>	33	<p>           Thue, L., W. Laube:            Untersuchungen und Behandlung von muskulären Funktionsstörungen im Sprunggelenk bei Sportlern . . . . .         </p>	65
<p>           Schabus, R. et al.:            Aggressive Rehabilitation nach Kreuzbandverletzungen . . . . .         </p>	35	<p>           Janda, V., J. E. Bullock-Saxton:            Zur Frage der Stabilität der Bewegungsmuster in bezug auf die Propriozeption . . . . .         </p>	67



R. Putz,  
M. Müller-Gerbl

## Knorpeldicke und subchondrale Knochen- dichte als morphologische Parameter der Beanspruchung der großen Gelenke

Cartilage thickness and subchondrale bone density as a  
morphological parameter of the mechanical load of the big joints

Anatomische Anstalt,  
Ludwig-Maximilians-Universität München

### Summary

The computer tomography-osteobioabsorbiometry is used to reveal the subchondral mineralisation as an important morphological sign of the daily activity. The mineralisation increases or decreases in relation to the mechanical load produced by sport, age, or immobilisation.

Während die Wechselwirkung von Form und Funktion des kompakten und des spongiösen Knochengewebes viele namhafte Forscher vor allem im deutschen Sprachraum schon seit Mitte des letzten Jahrhunderts intensiv beschäftigt hat, ist das wissenschaftliche Interesse am Gelenkbereich, mit Ausnahme des biochemischen Aufbaus des Gelenkknorpels, eher im Hintergrund geblieben. Neuere Untersuchungen haben nun den Hinweis ergeben, daß die Dickenverteilung des Gelenkknorpels und die Verteilung der subchondralen Knochen-dichte die lokale Beanspruchung über die Zeit widerspiegeln.

Die Knorpeldicke wird in ihrer Darstellbarkeit am Lebenden in orthograden oder tangentialen Aufnahmen einzelner Gelenkkörperanteile schon lange als ein - wenn auch grobes - Indiz für die Funktionstüchtigkeit einzelner Gelenke angesehen. Die radiologische Gelenkspaltweite, die allerdings die unter-

schiedliche Knorpeldicke der beiden beteiligten Gelenkkörper nicht weiter differenziert, ist das entsprechende Maß. Eigene Untersuchungen zeigen, daß die Knorpeldicke tatsächlich ein weitgehend konstantes Verteilungsmuster aufweist, wobei Dickenmaxima und -minima zwar individuell unterschiedlich groß, aber dennoch meist an vergleichbaren Stellen zu liegen kommen. Besonders auffallend ist dabei, daß die basale Knorpelschicht, die kalzifizierte Knorpelzone, weitgehend prozentual konstant dick ist. Dies ist ein Hinweis, daß die Mineralverteilung in der Tiefe der Gelenkkörper Gesetzmäßigkeiten unterliegt, die im weitesten Sinn im Zusammenhang mit der mechanischen Beanspruchung stehen (Müller-Gerbl *et al.*, 1987).

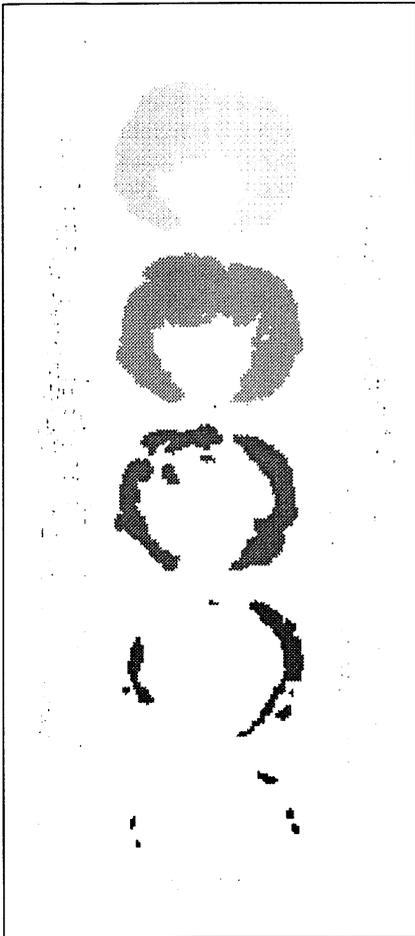
Ein zweiter morphologischer Parameter der Gelenkbeanspruchung ist die Verteilung der subchondralen Mineralisierung. Die wesentlichste theoretische Grundlage dazu stammt von F. Pauwels (1965), der als erster schlüssig den Zusammenhang zwischen dem lokalen Dichtegrad und der örtlichen Spannung dargestellt hat. Bekannt ist dies vor allem für seine Anwendung am Hüftgelenk, wo er unter dem Stichwort 'subchondrale Sklerosierung' bahnbrechende Ideen entwickelt hat.

Der Pauwelsche Ansatz, die Verteilung der subchondralen Mineralisierung aus

dem Ap-Röntgenbild abzuschätzen, erweist sich allerdings bei näherer Betrachtung als etwas problematisch. Das frontale Röntgenbild stellt nämlich ein Summationsbild dar, das auch bei Benutzung einer zweiten Ebene keine ausreichend genaue Zuordnung von Dichtewerten auf den Gelenkflächen erlaubt.

Wir haben deshalb unter Benutzung der Computertomographie ein Verfahren entwickelt, mit dem es möglich ist, diese gewünschte flächenhafte Verteilung der subchondralen Knochen-dichte zu objektivieren (Müller-Gerbl *et al.*, 1989, 1992). Grundlage bildet dabei der Datensatz möglichst dünner computertomographischer Schichtaufnahmen (2 mm), aus denen über die Umsetzung einzelner Hounsfield-Dichtebereiche in Falschfarben und nach einer bildanalytischen Weiterverarbeitung eine Flächenprojektion erarbeitet werden kann. Eine exakte individuelle Darstellung ist über eine Modifizierung unserer Methode möglich, bei der die einzelnen Hounsfield-Dichtestufen direkt als dreidimensionales Bild dargestellt und in Falschfarben übereinander projiziert werden (Abb. 1). Damit wird ein quantitativer Vergleich sowohl der Flächengrößen als auch der Dichtewerte über die Zeit möglich.

An einigen Beispielen soll die Aussagekraft der Methode erläutert werden. Im



Hüftgelenk zeigen sich beim jüngeren Menschen (bis ins fünfte Lebensjahrzehnt) zwei Dichtemaxima, die den vorderen bzw. hinteren Arealen der Facies lunata zuzuordnen sind. Beim älteren Menschen verschieben sich diese Dichtemaxima meist gegen die Kuppel des Acetabulums (Abb. 2).

Eine ähnliche Situation ergibt sich beim Schultergelenk. Auch hier treten beim jüngeren Menschen zwei randorientierte Dichtemaxima auf, während beim älteren Menschen nur mehr ein zentrales Dichtemaximum zu finden ist. Untersuchungen an Leistungsturnern haben erbracht, daß das Dichtemaximum - noch dazu in weit ausgedehnterer Form - zentral liegt. Außerdem sind wesentlich höhere Dichtewerte als bei untrainierten Versuchspersonen erreicht. Dies ist als

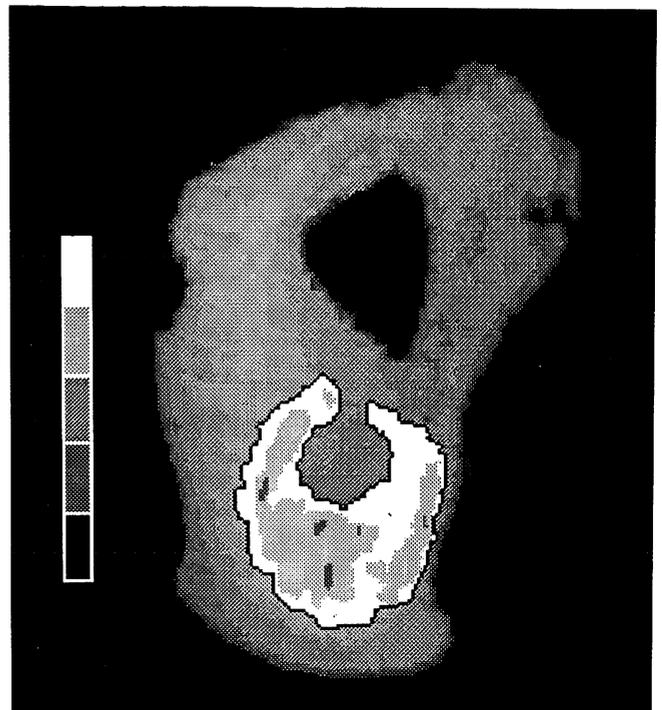
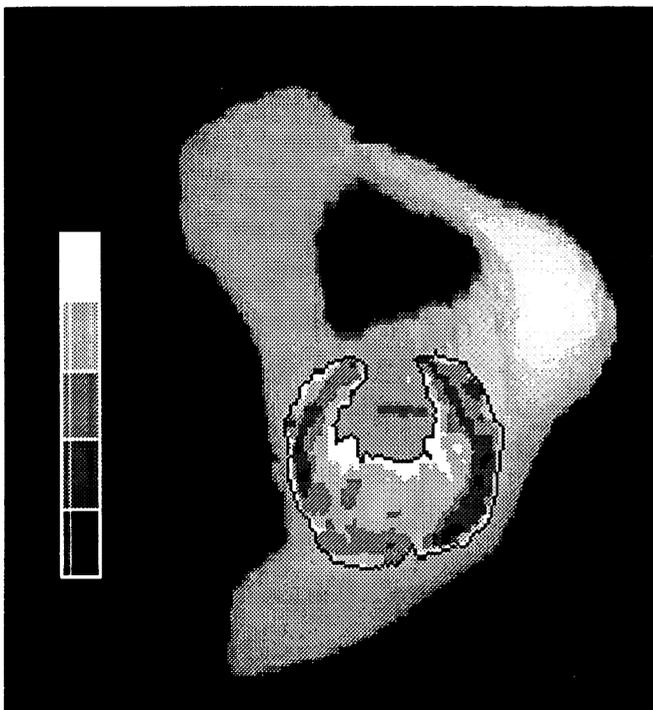
◀ **Abb. 1:** Linke Hüftgelenkpfanne eines 30jährigen Mannes von lateral, dargestellt mit Hilfe der CT-Osteoabsorptiometrie  
 a Verfahren zur Rekonstruktion der einzelnen Dichtestufen  
 b Rekonstruiertes 3-d-Gesamtbild. Die höchsten Dichtestufen liegen entlang des Vorder- und des Hinterrandes der Facies lunata.

Auswirkung oftmaliger Spitzenbeanspruchungen zu sehen, die eine Veränderung der Mineralisierung im Sinne einer Zentralisierung, aber auch einer allgemeinen Zunahme provoziert. Dabei kann im Sinne von Radin (1972) davon ausgegangen werden, daß mit zunehmender 'Sklerosierung' der subchondralen Knochenlamelle der Gelenkknorpel einer erhöhten Beanspruchung ausgesetzt wird.

Ein gegenteiliges Beispiel ergibt sich aus Befunden an zwei Patienten, deren Schultern im Zusammenhang mit neurogenen Veränderungen längere Zeit (4 Wochen bis 3 Monate) luxiert waren. Deren Schulterpfannen zeigen das typische Bild zweier Maxima; die Absolutwerte liegen jedoch in allen Bereichen wesentlich unter durchschnittlichen Befunden.

In den genannten Beispielen wurden Altersveränderungen und Gesamtveränderungen der Mineralisierung des sub-

▼ **Abb. 2:** Rechte Hüftgelenkpfanne eines 70jährigen Mannes von lateral, dargestellt mit Hilfe der CT-Osteoabsorptiometrie. Das Dichtemaximum liegt im Bereich der Facies lunata.





chondralen Knochens dargestellt. Bedeutsamer und für die Verwendung sowohl in experimenteller als auch in klinischer Hinsicht ist jedoch die Untersuchung von Verschiebungen der Mineralisierung innerhalb ein und desselben Gelenkes über eine längere Zeitspanne hindurch. Als ein besonders leicht zugängliches und von den technischen Fehlerquellen her überschaubares Gelenk bietet sich das Kniegelenk, insbesondere das Tibiaplateau, an. Hier liegen mechanische Grundlagen vor, die eine Analyse der unterstellten Spannungsverteilung im Gelenk aufgrund von Beinachsen und Winkeln erlauben.

Nach einer Osteotomie müßten sowohl beim Genu varum als auch beim Genu valgum sehr starke Verschiebungen der Dichteverteilung auftreten. Im Falle des Genu varum müßte das Hauptmaximum auf der medialen Gelenkfläche, im Falle

des Genu valgum auf der lateralen Gelenkfläche liegen. Was am Ap-Röntgenbild nur ungefähr abzuschätzen ist und als Diagnosegrundlage dient, ist in der CT-osteabsorptiometrischen Darstellung exakt reproduzierbar zu quantifizieren.

Erste Befunde haben ergeben, daß es relativ rasch wieder zu einer Mineralisierungsabnahme des postoperativ entlasteten Gelenk-Kompartimentes kommt, während die erwartete Mineralisierungszunahme des neu in Belastung gebrachten Gelenk-Kompartimentes etwas zögerlich auftritt. Da sich die Vergleichsaufnahmen auf ein Zeitintervall von etwa 4 Monaten beziehen, sehen wir die Möglichkeit gegeben, maßgebliche Veränderungen der Resultierenden, sowohl was die Länge als auch die Größe betrifft, aus der Mineralisierungsverschiebung abzulesen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die CT-Osteoabsorptiometrie mit der flächenhaften Darstellung der subchondralen Mineralisierung einen entscheidenden morphologischen Parameter der Beanspruchung zu visualisieren vermag, mit dem direkten Hinweise, auf den mechanischen Ist-Zustand und ggf. auf Verläufe der mechanischen Situation von Gelenken gewonnen werden können.

#### Literatur beim Verfasser

Anschrift für die Verfasser:

Prof. Dr. med. R. Putz  
Anatomische Anstalt (Lehrst. I)  
Pettenkoferstr. 11  
80336 München