

Unfall chirurg

95. Jahrgang Heft 4 April 1992

Leitthema: Beckenringverletzung

L. Schweiberer

Einführung zum Thema 163

Introduction to the topic

R. Putz, M. Müller-Gerbl

Anatomische Besonderheiten des Beckenrings 164

Anatomical features characteristic
of the pelvic girdle

P. M. Rommens, J. Gielen, P. L. Broos

Die Bedeutung der CT für Diagnostik und Therapie der Frakturen des Beckenrings 168

The significance of CT in the diagnosis and therapy
of fractures of the pelvic ring

E. Euler, P. Krueger, A. Betz, L. Schweiberer

Beckenringfrakturen – müssen sie stabilisiert werden? 174

Pelvic fractures – do they have to be stabilized?

H. Seiler

Zeitpunkt der Osteosynthese bei Beckenringverletzungen. Vor- und Nachteile der frühzeitigen operativen Versorgung 181

Timing osteosynthesis in pelvic injuries. Advantages
and disadvantages in early operative care

K. Taeger

Anästhesiologische Probleme und Besonderheiten in der Versorgung von schweren Beckenverletzungen 185

Anesthesiology problems and points to consider
in the care of severe pelvic injuries

U. Bosch, T. Pohlemann, N. Haas, H. Tscherne

Klassifikation und Management des komplexen Beckentraumas 189

Grading and management of complex pelvic
traumas

T. Pohlemann, A. Gänsslen, B. Kiessling, U. Bosch,
N. Haas, H. Tscherne

Indikationsstellung und Osteosynsetechniken am Beckenring 197

Indications for osteosynthesis in fractures
of the pelvis and the technique of stabilization

J. Poigenfürst, H. G. Ender, A. Zadra

Komplikationen der operativen Versorgung von Beckenfrakturen 210

Complications in the operative care of pelvic
fractures

Buchbesprechungen/Book reviews 214

Indexed in *Current Contents*

Zur 109. Tagung der Deutschen Gesellschaft für Chirurgie, München



Springer-Verlag

Anatomische Besonderheiten des Beckenrings*

R. Putz und M. Müller-Gerbl

Anatomische Anstalt, Lehrstuhl I (Vorstand: Prof. Dr. R. Putz) der Ludwig-Maximilians-Universität München

Anatomical features characteristic of the pelvic girdle

Summary. The most recent methods of investigation (CT osteoabsorptiometry) were applied in an attempt to reconstruct from their morphological structure the way in which connections between the bones of the pelvic girdle undergo stress. Thus, both sacroiliac articulation and symphysis pubis show characteristic distribution of the subchondral bone density and layout of the tensile collagen fibrous material as expression of a strongly varying qualitative pattern of stress during walking. In the region of sacroiliac articulation are the highest subchondral densities, both at the cranial and caudal edges, whereas the central part of the two auricular surfaces is less heavily mineralized. This distribution matches the thickness of the hyaline cartilage of the joint. There are striking sexual differences in the distribution of the subchondral bone density at the bordering surfaces of the symphysis pubis. During walking, all components of sacroiliac articulation and the symphysis pubis are apparently subjected to sudden changes in stress. Independent of this, the os sacrum is constantly exposed to torque on account of the weight of the upper body, and this is balanced out by the sacrospinal and sacrotuberal ligaments.

Zusammenfassung. Anhand neuester Untersuchungsmethoden (CT-Osteoabsorptiometrie) wird versucht, die Art der Beanspruchung der Verbindungen der Knochen des Beckenrings von ihrem morphologischen Aufbau her darzustellen. So zeigen sowohl die Articulatio sacroiliaca als auch die Symphyse als Ausdruck einer stark wechselnden qualitativen Beanspruchung beim Ablauf des Gehens und des Stehens eine charakteristische Verteilung der subchondralen Knochendichte und der Anordnung des zugfesten kollagenen Fasermaterials. Im Bereich der Articulatio sacroiliaca finden sich die höchsten subchondralen Verdichtungen sowohl am kranialen als auch am kaudalen Rand, während der zentrale Teil der

beiden Facies auriculares weniger mineralisiert ist. Dieser Verteilung entspricht die Dicke des hyalinen Gelenkknorpels. Die Verteilung der subchondralen Knochendichte der Grenzflächen der Symphyse zeigt auffällige Geschlechtsunterschiede. Im Ablauf des Gehens kommt es offensichtlich zu einer sprunghaft wechselnden Beanspruchung aller Anteile der Articulationes sacroiliacae und der Symphyse. Unabhängig davon ist das Os sacrum durch die Last des Oberkörpers ständig dem Drehmoment ausgesetzt, das durch die Ligg. sacrospinalia und sacrotuberalia im Gleichgewicht gehalten wird.

Im Rahmen dieses Beitrags soll versucht werden, einige Wechselbeziehungen zwischen Form und Funktion des subchondralen Knochens und des Bandapparats im Bereich des Beckenrings herauszuarbeiten. Neben der Beschreibung der anatomischen Strukturen wird dabei vor allem die CT-Osteoabsorptiometrie benutzt, mit deren Hilfe sich die Verteilung der subchondralen Knochendichte als Ausdruck der hauptsächlichlichen Beanspruchung der Gelenke [4] darstellen läßt.

Morphologie der Verbindungen des Beckenrings

Der Beckenring als Ganzheit wird vom rechten und vom linken Os coxae mit dem interponierten Os sacrum aufgebaut. Ventral wird die Verbindung durch die bei Mann und Frau unterschiedlich gebaute Symphyse hergestellt, das Os sacrum ist mit dem rechten und dem linken Os coxae jeweils durch die Articulatio sacroiliaca verbunden. Schließlich ist auf die Ligg. iliolumbalia hinzuweisen, die zusammen mit dem 5. Lendenwirbel ebenfalls die beiden Beckenknochen verbinden und zugleich die Einfügung der Wirbelsäule in den Beckenring festigen.

Symphysis pubica

Rechtes und linkes Os pubis begrenzen mit ihrer jeweiligen Facies symphysialis den Discus interpubicus, der eine

* Vortrag gehalten auf dem 8. Münchner Innenstadt-Symposium 1989

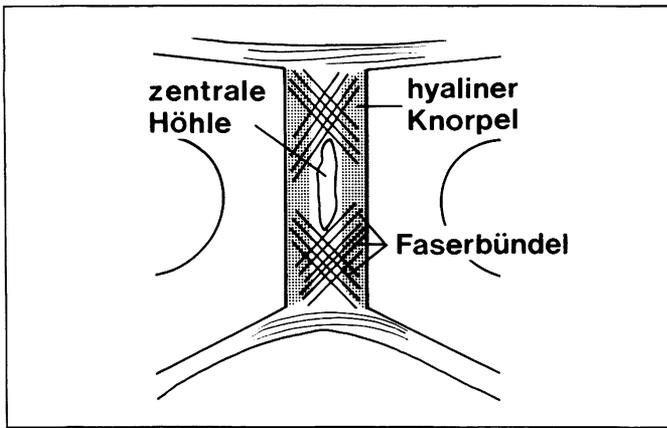


Abb. 1. Schematische Darstellung der Faseranordnung in der Symphyse

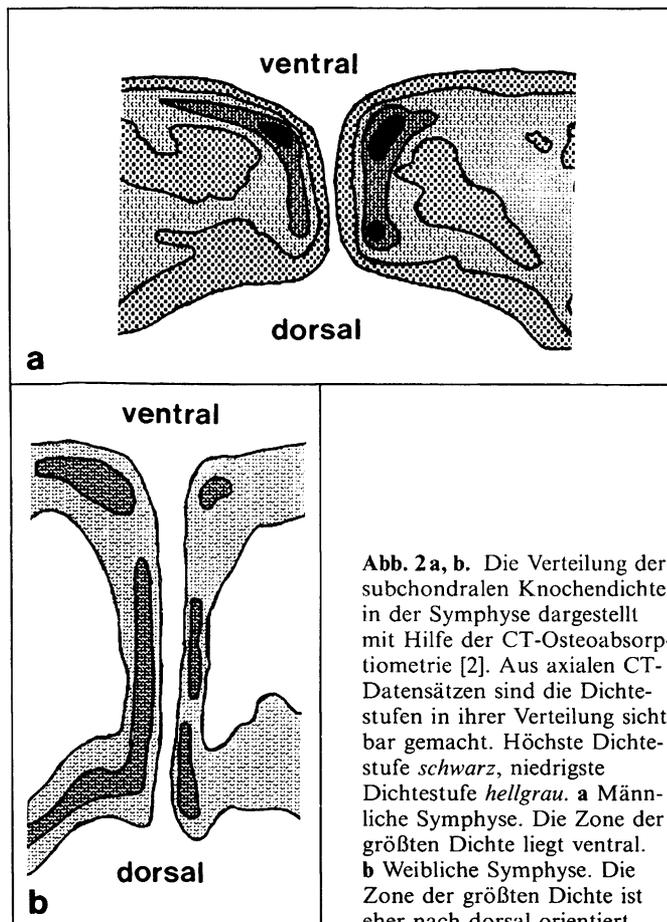


Abb. 2 a, b. Die Verteilung der subchondralen Knochendichte in der Symphyse dargestellt mit Hilfe der CT-Osteoabsorptiometrie [2]. Aus axialen CT-Datensätzen sind die Dichtestufen in ihrer Verteilung sichtbar gemacht. Höchste Dichtestufe *schwarz*, niedrigste Dichtestufe *hellgrau*. **a** Männliche Symphyse. Die Zone der größten Dichte liegt ventral. **b** Weibliche Symphyse. Die Zone der größten Dichte ist eher nach dorsal orientiert

annähernde Keilform besitzt. Der Rücken des Keils ist dabei nach ventral, die Schneide nach dorsal gerichtet.

Der Discus interpubicus wird i. allg. als Faserknorpel beschrieben, nähere Untersuchungen zeigen jedoch eine gewisse Inhomogenität. Die Grenzfläche gegen das Os pubis hin wird von hyalinem Knorpel aufgebaut, in den übrigen, den peripheren Anteilen, überwiegt dicht gelagertes kollagenes Fasermaterial, zentral findet sich zu meist eine ausgedehnte spaltförmige Höhle (Abb. 1).

Die Ausrichtung der kollagenen Faserbündel weist nach polarisationsoptischen Untersuchungen eine klare Gesetzmäßigkeit auf. Ober- und Unterrand werden von transversalen Faserbündeln, die als derbe Bänder aufzufassen sind, verstärkt. Davon ziehen sowohl im unteren als auch im oberen Teil der Symphyse sich in der Medianebene überkreuzende Fasern zur Gegenseite (Abb. 1).

Als funktionelle Interpretation des Aufbaus des Discus interpubicus läßt sich ableiten, daß die Symphyse sowohl an die Aufnahme von Druck- als auch von Zugbeanspruchungen angepaßt ist. Durch die Verflechtung der Fasern ist sie außerdem in der Lage, insbesondere vertikale Scherbeanspruchungen aufzunehmen.

Die subchondrale Knochendichte der Facies symphysialis zeigt bei den beiden Geschlechtern auffällige Unterschiede (Abb. 2). Beim Mann liegen die Zonen größerer Dichte vorwiegend im Bereich der ventralen Ränder der Facies symphysialis, während bei der Frau die Zonen größerer Dichte eher entlang der dorsalen Flächenanteile ausgerichtet sind. Geht man davon aus, daß die Verteilung der subchondralen Knochendichte Ausdruck der Anpassung an die hauptsächlich regionale Druckbeanspruchung ist [4], so ist daraus zu schließen, daß die Symphyse bei Mann und Frau unterschiedlich beansprucht wird. Beim Mann erfolgt die Druckbeanspruchung vermehrt über die vorderen Anteile der Facies symphysialis, bei der Frau über den hinteren Symphysenbereich. Dieser Unterschied ist u.E. auf den Einfluß der geschlechtsspezifischen Beckenform zurückzuführen.

Articulatio sacroiliaca

Neben den beiden Facies auriculares ist an der Articulatio sacroiliaca eine Reihe auffallend starker kollagener Bänder beteiligt. Dazu gehören die periartikulär gelegenen Ligg. sacroiliaca (anterior, posterior, interosseum) sowie das Lig. sacrospinale und das Lig. sacrotuberale. Obwohl die beiden letztgenannten Bänder relativ weit von der Articulatio sacroiliaca entfernt liegen, bilden sie mit dem Gesamtkomplex dieses Gelenks eine funktionelle Einheit.

Die Gelenkspalte der beiden Articulationes sacroiliacae sind nach dorsal konvergierend ausgerichtet; die Facies auriculares besitzen 2 Flächenanteile (Abb. 3), deren unregelmäßige Form zu vielerlei funktionellen Spekulationen Anlaß gegeben hat [1]. Eigene Untersuchungen haben gezeigt [5], daß die Ränder der Facies auriculares regelmäßig eine hyaline Knorpelbedeckung aufweisen, deren Spaltlinien als Ausdruck der funktionellen Orientierung der Oberflächenfasern senkrecht auf die Gelenkränder hin ausgerichtet sind. In den zentralen Zonen ist die Knorpelbedeckung wesentlich geringer, an vielen Präparaten findet sich nur eine dünne Faserschicht, die vielfach als degenerative Veränderung mißdeutet wurde.

Die Verteilung der subchondralen Knochendichte, dargestellt mit Hilfe der CT-Osteoabsorptiometrie, zeigt ein ebenso regelmäßiges Muster [2]. Die höchsten Dichtezonen sind entlang der Ränder der Facies auriculares ausgerichtet, während sich zentral – im Bereich der sog. degenerativen Zonen – die niedrigsten Dichtestufen finden (Abb. 4).

Aus den Befunden der Knorpel- und der Dichteverteilungen kann abgeleitet werden, daß die Druckübertragung in der *Articulatio sacroiliaca* nicht flächenhaft, sondern über die Ränder erfolgt. Wie später dargestellt wird, ist die abwechselnde Belastung der Randzonen Folge des Bewegungsmusters im Ablauf von Gehen und Stehen während des täglichen Lebens.

Die sakrokokoxalen Bänder sind in 2 Gruppen angeordnet. Direkt dem Gelenk anliegend bilden die *Ligg. sacroiliaca anterius* und *posterius* derbe Verstärkungsplatten der Gelenkkapsel. Als dicke Masse mit einer Querschnittsfläche von einigen Quadratzentimetern ist das stärkste Band das *Lig. sacroiliacum interosseum*, das die Einschnitte der *Facies auriculares* miteinander verbindet. Häufig ist in dieses Band – als Ausdruck der wechselnden Druck- und Zugbeanspruchung im Bewegungsablauf – eine Bursa oder sogar eine gelenkähnliche Druckzone eingebaut.

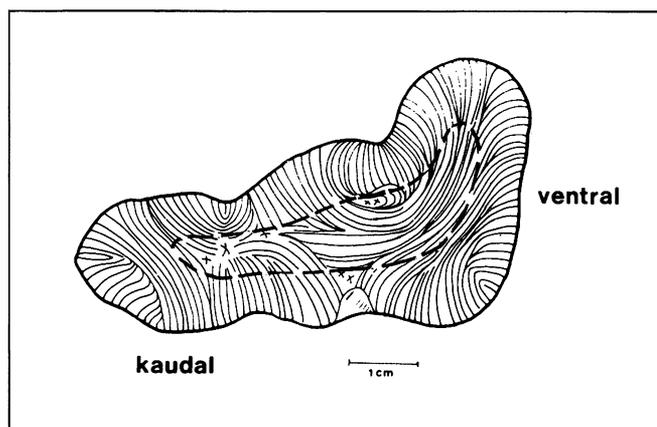


Abb. 3. Verteilung des hyalinen Gelenkknorpels auf der *Facies auricularis* und Darstellung des Faserverlaufs der Oberflächenschicht mit Hilfe der Spaltlinienmethode [5]. Der normal aufgebaute hyaline Gelenkknorpel liegt randständig, während sich zentrale faserige Umbauzonen finden

Die 2. Gruppe von Bändern verbindet *Os sacrum* und *Os ischii*. Bezogen auf einen Drehpunkt, der zentral im Bereich der *Articulatio sacroiliaca* liegen könnte, besitzen diese starken Bänder einen großen Hebelarm, der sie aufgrund des bei Belastung sehr hohen antagonistisch wirkenden Drehmoments zu einer sehr wirksamen Halteeinrichtung für das *Os sacrum* innerhalb des Beckenrings werden läßt (Abb. 5).

Auch die *Lig. iliolumbalia* besitzen einen – bezogen auf die Beweglichkeit innerhalb des Beckenrings – relativ langen Hebelarm. Sie verbinden die nach rechts und links ausladenden *Processus costales* des 5. Lendenwirbels und ziehen in 2 Anteilen, einer frontal gestellten und einer transversal ausgerichteten Platte, nach lateral zum *Os ilium*. Abgesehen von den Endstellungen der Wirbelsäulenrotation und der Lateralflexion werden sie vor allem bei der Ventralflexion der Wirbelsäule gespannt [3]. Damit stellen sie eine Art dynamische Verankerung der oberen Beckenanteile dar.

Funktionelle Übersicht

Wie in der morphologischen Übersicht angedeutet, läßt sich eine klare Wechselbeziehung zwischen den Elementen des Beckenrings und der funktionellen Beanspruchung des Beckens darstellen. Schon Pauwels [4] hat darauf hingewiesen, daß grundsätzliche Unterschiede in der örtlichen Beanspruchung der Bauelemente des Beckenrings beim beidbeinigen gegenüber dem einbeinigen Stand bestehen.

Bei aufrechtem Stand auf beiden Beinen und lotrechtem Verlauf der Schwerlinie des Körpers durch die Standfläche wird die Last des auf dem Sakrum ruhenden Körperteilgewichts (repräsentiert in S4) so auf die Gelenke übertragen, daß die Symphyse und die *Ligg. sacrospinale* und *sacro tuberale* sowie das *Lig. sacroiliacum anterius* unter Zugbeanspruchung geraten. Auch das *Lig. sacroiliacum interosseum* nimmt Zugkräfte auf, während die

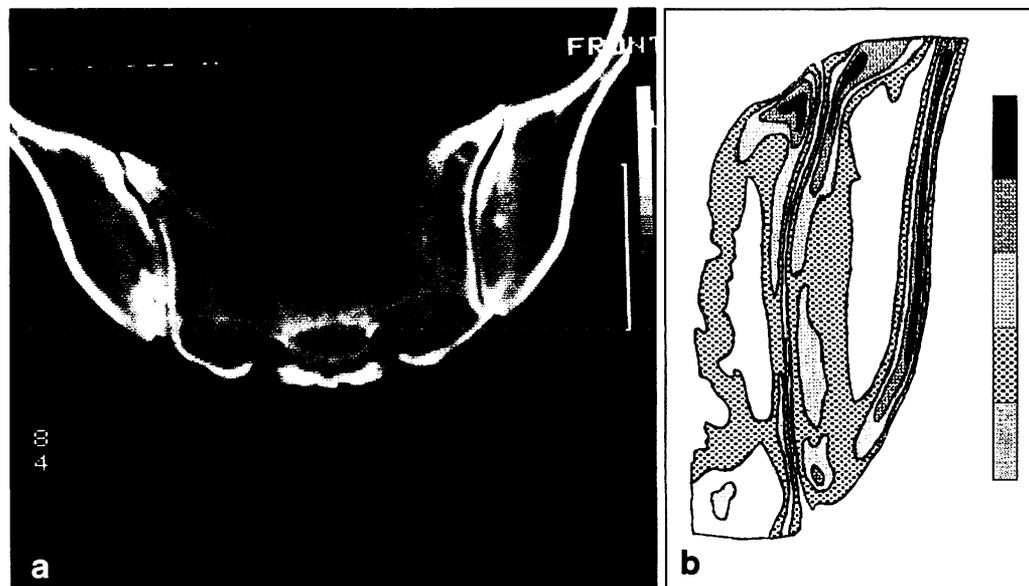


Abb. 4 a, b. Verteilung der subchondralen Knochendichte in der *Articulatio sacroiliaca*.
a Axiale CT-Übersicht.
b Darstellung der subchondralen Knochendichte mit Hilfe der Osteoabsorptiometrie. Die hohen Dichtezonen liegen randständig, während sich zentrale Bereiche niedriger Dichte finden (s. auch Abb. 2)

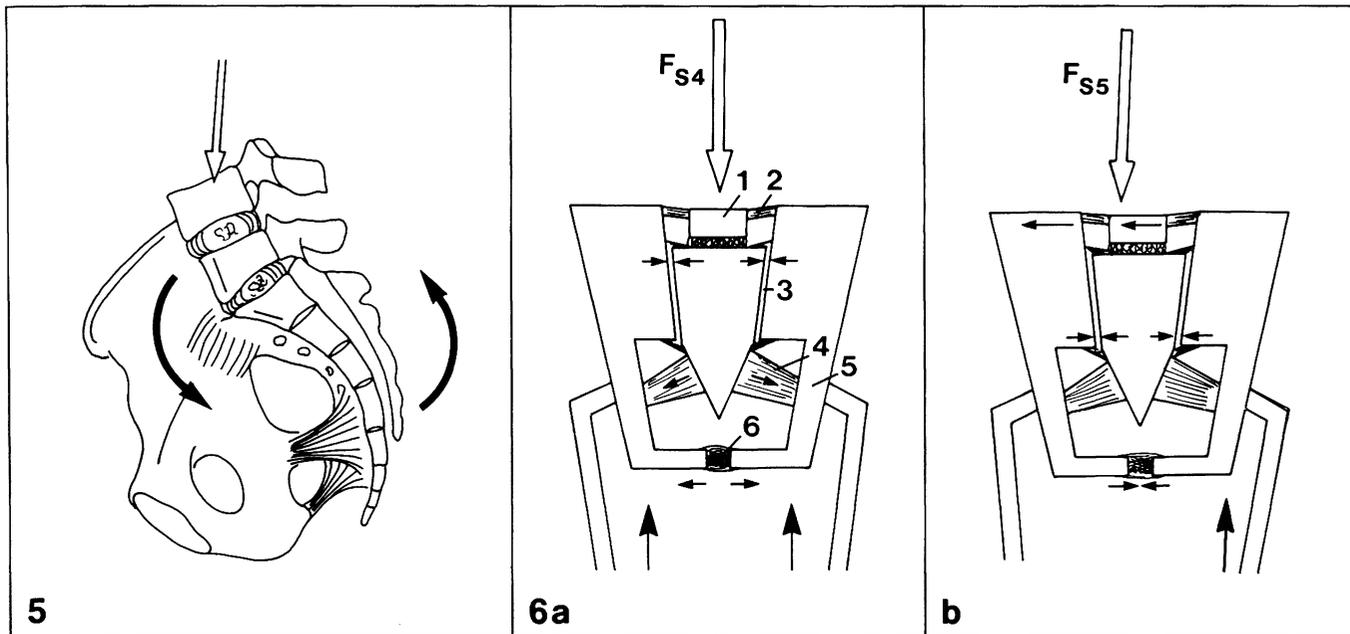


Abb. 5. Verspannung des Os sacrum im Beckenring unter der Last des Körpergewichts (vertikale Rotation)

Abb. 6a, b. Druck- und Zugbeanspruchung der Knochenverbindungen des Beckenrings unter Benützung von Abbildungen aus [4]. S_4 Körperteilgewicht ohne untere Extremitäten, S_5 Körperteilgewicht ohne Spielbein. **a** Stand auf beiden Beinen. **b** Stand auf einem Bein (1. 5. Lendenwirbel; 2, Lig. iliolumbale; 3, Articulatio sacroiliaca; 4, Ligg. sacrospinale und sacrotuberale; 5, Hüftgelenk; 6, Symphyse. Die vertikale Scherkraft in der Symphyse ist nicht dargestellt

abstützenden Druckkräfte über die oberen Ränder der Facies auriculares übertragen werden (Abb. 6a). Beim aufrechten Stand auf einem Bein und während der meisten Phasen des Gehens wird die Körperlast nur über ein Hüftgelenk auf das Standbein übertragen. Damit ändern sich die Belastungsverhältnisse des Beckenrings gegenüber dem Stand auf beiden Beinen grundsätzlich. Durch die Notwendigkeit, die Körperschwerlinie in die Unterstützungsfläche des Standbeins zu bringen, und aus energetischen Gründen wird die Schwerlinie im Beckenbereich relativ weit auf die Seite des Spielbeins verlagert. Das dadurch entstehende Drehmoment wird durch die oberen Bandverbindungen des Beckenrings, Lig. sacroiliacum interosseum und Lig. sacroiliacum posterius sowie gegebenenfalls durch die Ligg. iliolumbalia aufgefangen. Demgegenüber geraten die unteren Ränder der Facies auriculares sowie die Symphyse unter Druck. Gleichzeitig entsteht offensichtlich eine gewisse longitudinale Scherbeanspruchung in der Symphyse, die bei raschen Bewegungsabläufen wahrscheinlich durch sagittale Scherkräfte verstärkt wird (Abb. 6b). Während des Stands auf einem Bein beschränkt sich die Funktion der Ligg. sacrospinale und sacrotuberale darauf, die vertikale Rotation des Sakrums zu begrenzen und dieses in seiner Position zu verspannen (Abb. 5).

Beim Wechsel von einem auf das andere Bein, dem normalen Ablauf beim Gehen und Laufen, kommt es zu einem intermittierenden Wechsel von Druck- und Zugbeanspruchung aller Elemente des Beckenrings. Eine Reihe morphologischer Besonderheiten, die häufig als Ausdruck einer individuellen Variabilität oder gar altersmäßiger bzw. zivilisatorischer Degeneration gedeutet wurden, findet so eine sinnvolle funktionelle Erklärung und spiegelt die konsequente Wechselwirkung von Form und Funktion im passiven Bewegungsapparat wider. Für die Entwicklung bzw. Anwendung standardisierter Operationsverfahren muß die intermittierende örtliche Druck- und Zugbeanspruchung berücksichtigt werden, um Komplikationen vorzubeugen.

Literatur

1. Kapandji IA (1985) Funktionelle Anatomie der Gelenke. In: Otte P, Schlegel KF (Hrsg) Bücherei des Orthopäden, Bd. 47. Untere Extremität. Enke, Stuttgart
2. Müller-Gerbl M, Putz R, Hodapp N, Schulte E, Wimmer B (1989) Computed tomography-osteodensitometry for assessing the density distribution of subchondral bone as a measure of long-term mechanical adaptation in individual joints. *Skeletal Radiol* 18:507
3. Paul HJ (1990) Zur Funktion des Lig. iliolumbale. Dissertation, Universität Freiburg
4. Pauwels F (1965) Gesammelte Abhandlungen zur Biomechanik des Bewegungsapparates. Springer, Berlin Heidelberg New York
5. Schöhl W (1985) Die Oberflächenstruktur der Sakroiliakgelenke. *Verh Anat Ges* 79:185-187

Prof. Dr. R. Putz
Anatomische Anstalt, Lehrstuhl I der Universität
Pettenkoferstraße 11
W-8000 München 2
Bundesrepublik Deutschland