

10/93

Bandscheiben- diagnostik

Funktionsbezogene
Morphologie der Bandscheiben

Moderne
Bandscheibendiagnostik

Bildgebende Diagnostik
nach spinaler
Diskushernienoperation

Die perkutane Nukleotomie

Klinik und Praxis

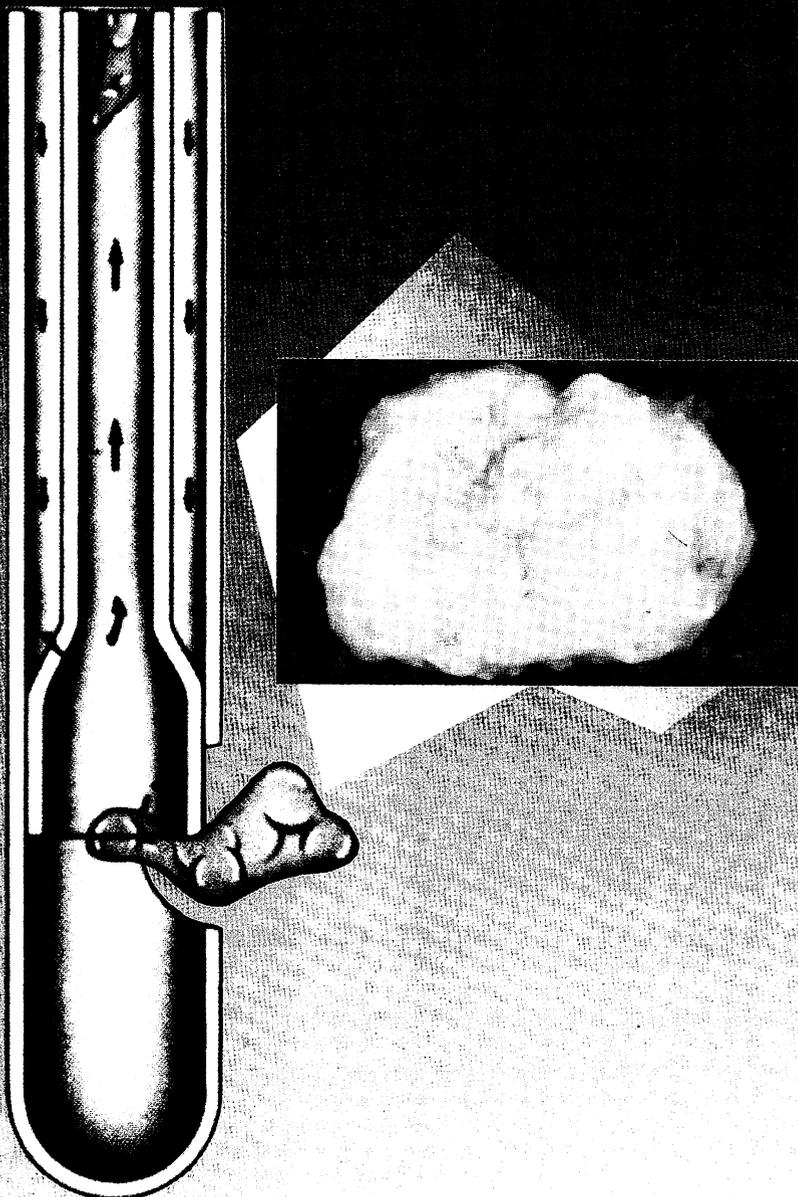
Röntgenquiz

Indexed in *Current Contents*/
Evaluated and abstracted
for *Energy on STN*



Springer-Verlag

radiologie Oktober 1993



Der Radiologe

Zeitschrift für bildgebende Verfahren, Radioonkologie, Nuklearmedizin

Jahrgang 33 Heft 10 Oktober 1993

Bandscheibendiagnostik

Redaktion: H. Imhof

- | | |
|---|------------|
| Funktionsbezogene Morphologie der Bandscheiben
R. Putz | 563 |
| Moderne Bandscheibendiagnostik
J. Kramer, F. Kainberger, K. Staniszwski, E. Steiner, H. Imhof | 567 |
| Bildgebende Diagnostik nach spinaler
Diskushernienoperation
S. Trattnig, J. Kramer, M. Mühlbauer, F. Kainberger, H. Imhof | 573 |
| Die perkutane Nukleotomie
H. Weigand | 581 |

Klinik und Praxis

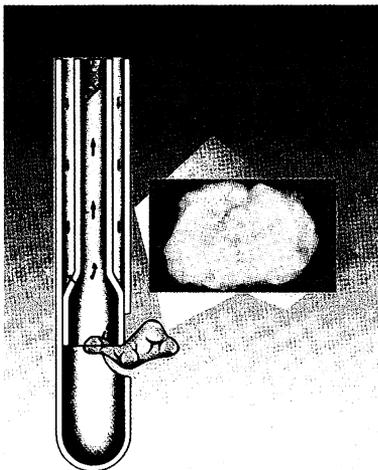
- | | |
|--|------------|
| Zerebrale Manifestation der progressiven fazialen
Hemiatrophie (Romberg-Erkrankung).
Kernspintomographische Befunde und Literaturübersicht
K. Terstegge, H. Henkes, B. Kunath, S. Felber, P. Uhrmeister, A. Kern | 585 |
|--|------------|

Röntgenquiz

Unklare Osteolyse des rechten Unterkiefers 597
M. Oelerich, T. Vestring

Unklare Beinschwellung? 599
S. K. Bajaj, T. Vestring

Buchbesprechungen 596
Kongreßforum 602
Impressum A6



Titelbild: *Links:* Die Spitze des Nucleotomes.
Rechts: Abgesaugtes Material aus einem Bandscheibenfach nachträglich zusammengefügt.

(Aus dem Beitrag von H. Weigand, s. S. 581–584 in diesem Heft)

Indexed in *Current Contents*/Evaluated and abstracted for *Energy on STN*

117 Radiologe ISSN 0033-832X RDLGBC (1993) 33 (10) 563–602
Gedruckt auf säurefreiem Papier

Der Radiologe dient der Information und Fortbildung auf dem Gebiet der gesamten Radiologie.

Die Radiologie nimmt unter den klinischen Fachdisziplinen der Medizin eine zentrale und verbindende Stellung ein. Fortschritte in Technik und Forschung führen zu einer immer schnelleren Entwicklung der radiologischen Diagnostik und Therapie. Die Methode der Röntgen-Computer-Tomographie, Verbesserungen der Kontrastmethoden und anderer bildgebender Verfahren sowie die apparative Weiterentwicklung haben zu umwälzenden Veränderungen auf dem Gebiet der Diagnostik geführt. Ähnliche Fortschritte sind in der Radionuklid diagnostik aber auch in der Strahlentherapie durch moderne Bestrahlungsgeräte und die kombinierte Behandlung mit Chemotherapeutika erkennbar. Strahlenbiologie und Strahlenschutz finden immer stärkeres Interesse.

In jedem Heft *des Radiologen* wird ein Thema des Faches behandelt, so daß ein aktueller Überblick über den jeweiligen Wissensstand vermittelt wird. Die Aktualität der Zeitschrift ist durch kurzfristig zu veröffentlichen Beiträge unter den Rubriken „Klinik und Praxis“ sowie „Aktuelles aus der Forschung“ gewährleistet.

Interessengebiete: Röntgendiagnostik, Angiographie, Neuroradiologie, Pädiatrische Radiologie, Strahlentherapie, Onkologie, Nuklearmedizin in Diagnose und Therapie, Ultraschall, Biophysik, Strahlenschutz.

Der Radiologe

Zeitschrift für bildgebende Verfahren, Radioonkologie, Nuklearmedizin

Begründet von L. Diethelm, R. Haubrich, O. Olsson, F. Strnad, H. Vieten

Schriftleitung

P. E. Peters, Münster · H. Imhof, Wien · G. van Kaick, Heidelberg · M. Reiser, München

Herausgegeben von

W. A. Fuchs, Zürich · F. Heuck, Stuttgart · E. Löhr, Essen
E. Moser, Freiburg · U. Piepgras, Homburg · H. Pokieser, Wien · W. Schuster, Gießen · M. Wannemacher, Heidelberg · W. Wenz, Freiburg

Wissenschaftlicher Beirat

I. P. Arlart, Stuttgart · A. Baert, Leuven · Y. W. Bahk, Seoul · V. Barth, Esslingen · H. K. Deininger, Darmstadt
R. Felix, Berlin · H. Frommhold, Freiburg · M. Iio, Tokyo
H. Ingrisch, München · G. Kauffmann, Heidelberg
K. Mathias, Dortmund · U. Mödder, Düsseldorf
A. E. Oestreich, Cincinnati · O. Pohlenz, Hamburg
G. Rosenbusch, Nijmegen · P. Vock, Bern · A. Wackenheim, Strasbourg



Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
London Paris Tokyo Hong Kong Barcelona Budapest

Der Radiologe

Mit der Annahme eines Beitrags zur Veröffentlichung erwirbt der Verlag vom Autor alle Rechte, insbesondere das Recht der weiteren Vervielfältigung zu gewerblichen Zwecken mit Hilfe fotomechanischer oder anderer Verfahren. Die Zeitschrift sowie alle in ihr enthaltenen einzelnen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Jeder Autor, der Deutscher ist oder ständig in der Bundesrepublik Deutschland lebt oder Bürger Österreichs, der Schweiz oder eines Staates der Europäischen Gemeinschaft ist, kann unter bestimmten Voraussetzungen an der Ausschüttung der Bibliotheks- und Fotokopiertantiemen teilnehmen. Nähere Einzelheiten können direkt von der Verwertungsgesellschaft WORT, Abteilung Wissenschaft, Goethestraße 49, D-80336 München, eingeholt werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenzeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag *keine Gewähr* übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Der **Radiologe** erscheint monatlich. Bestellungen (ISSN 0033-832X) nehmen jede Buchhandlung und der Verlag entgegen. Springer-Verlag, Postfach 31 1340, D-10643 Berlin, Tel. 030/82 07-0, FAX 030/8207448

Bezugspreis: Jährlich (12 Hefte) DM 438,- zuzüglich Versandkosten (Inland DM 27,73 inkl. MWSt, Ausland DM 52,20). Einzelheftpreis DM 43,80 zuzüglich Versandkosten. Für Studierende und für Ärzte in der Fachausbildung ermäßigt sich der Bezugspreis auf jährlich DM 219,- zuzüglich Versandkosten (Nachweis über Studium/Ausbildung erforderlich).

USA und Kanada: ca. US 343.00 einschließlich Versandkosten. Bezieher in Japan, Indien, Australien und Neuseeland werden per SAL (Surface Airmail Lifted) beliefert. Die Versandkosten können beim Verlag erfragt werden. Die Lieferung der Zeitschrift läuft weiter, wenn sie nicht bis zum 30. 9. eines Jahres abbestellt wird.

Bei Adressenänderungen muß neben dem Titel der Zeitschrift die neue und alte Adresse angegeben werden. Adressenänderungen sollten mindestens 6 Wochen vor Gültigkeit gemeldet werden.

Hinweis gemäß § 4 Abs. 3 der Postdienst-Datenschutzverordnung: Bei Anschriftenänderung des Beziehers kann die Deutsche Bundespost POSTDIENST dem Verlag die neue Anschrift auch dann mitteilen, wenn kein Nachsendeantrag gestellt ist. Hiergegen kann der Bezieher innerhalb von 14 Tagen nach Erscheinen dieses Heftes bei unserer Berliner Verlagsanschrift widersprechen.

Microform-Ausgaben können bezogen werden von University Microfilm International, 300 N. Zeeb Road, Ann Arbor, MI 48106, USA.

Für Vertriebsfragen zuständig: Springer-Verlag Berlin, Helga-Beate Pohl, Tel. 030/82 07-2 73, FAX 030/8207448

Herstellung: Springer-Verlag, Christine Herth, Zeitschriftenherstellung I, Postfach 10 52 80, D-69042 Heidelberg, **Hausadresse:** Tiergartenstraße 17, D-69121 Heidelberg, Tel. 062 21/4 87-526, FAX 062 21/48 76 24

Anzeigen: Springer-Verlag, Heidelberger Platz 3, D-14197 Berlin, Tel. 030/82 07-0, FAX 030/8207300

Verantwortlich für den Textteil: Prof. Dr. H. Imhof, MR-Institut, Universitätsklinik für Radiodiagnostik, Lazarettgasse 14, A-1090 Wien.

Für den Anzeigenteil: E. Lückermann, U. Evert, Springer-Verlag, Heidelberger Platz 3, D-14197 Berlin.

Gesamtherstellung: Appl, Wemding, Printed in Germany,
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1993
Springer-Verlag GmbH & Co KG, D-14197 Berlin

Der Radiologe

Volume 33 Number 10 1993

Intervertebral disc diagnosis

Editor: H. Imhof

Function-related morphology of the intervertebral discs 563

R. Putz

Modern intervertebral disc diagnosis 567

J. Kramer, F. Kainberger, K. Stanisziwski, E. Steiner, H. Imhof

Imaging techniques for diagnosis after surgery for degenerative disc disease 573

S. Trattig, J. Kramer, M. Mühlbauer, F. Kainberger, H. Imhof

Percutaneous nucleotomy 581

H. Weigand

Clinical and general practice

CNS manifestation in progressive facial hemiatrophy (Romberg's disease). MRI findings and review of the literature 585

K. Terstegge, H. Henkes, B. Kunath, S. Felber, P. Uhrmeister, A. Kern

Radiology quiz

Unexplained osteolysis of the right lower jaw 597

M. Oelerich, T. Vestring

Swollen legs of obscure aetiology 599

S. K. Bajaj, T. Vestring

Book reviews

596

Forthcoming meetings

602

Zusammenfassung

Die Bandscheiben leisten nur einen geringen Beitrag zur Stoßdämpfung, stellen aber effiziente Einrichtungen zur axialen Druckübertragung über die gesamten angrenzenden Wirbelkörperendflächen dar. Solange eine ausreichende Vorspannung durch die Nuclei pulposi besteht, nehmen die Anuli fibrosi vor allem der LWS an der ligamentären Führung des segmentalen Bewegungsablaufs teil. Ab dem 20. Lebensjahr sind die Bandscheiben völlig gefäßfrei, sie besitzen dennoch einen hohen Stoffwechsel. Ihr Wassergehalt nimmt mit zunehmendem Lebensalter ab. Bereits ab dem ersten Lebensjahrzehnt treten in den Halsbandscheiben – beginnend von den seitlichen, unkovertibralen Zonen – Spalten auf, die sich sehr häufig als Risse quer durch die gesamte Bandscheibe fortsetzen.

Schlüsselwörter

Bandscheibe – Randleiste – sog. unkovertibrale Spalten – Gefäßversorgung

Funktionsbezogene Morphologie der Bandscheiben

R. Putz
Anatomische Anstalt München, Lehrstuhl I

Die Bandscheiben sind entsprechend ihrer komplexen Beanspruchung heterogen aufgebaut und weisen große regionale Unterschiede auf. In jedem Lebensalter besteht eine enge Beziehung zwischen Form und Funktion. Vordergründige Bewertungen morphologischer Veränderungen können deshalb leicht zu Fehlinterpretationen führen. Im folgenden soll versucht werden, die regionalen Strukturunterschiede der Bandscheiben unter funktionellen Gesichtspunkten darzustellen.

Stukturprinzip

Struktur der anliegenden Bänder

Vor allem in den kyphotischen Abschnitten der Wirbelsäule, im lumbosakralen Übergang, in der LWS sowie im zervikothorakalen Bereich sind die Vorder- und Seitenflächen der Wirbelkörper wie auch der Bandscheiben vom Lig. longitudinale anterius bedeckt (Abb. 1, 2). Schon der Aufbau aus kollagenen Fasern und deren Anordnung weist, wie Reißfestigkeitsuntersuchungen [9] bestätigen, darauf hin, daß diese feste Faserplatte eine unelastische Gurtung der kyphotischen Wirbelsäulenanteile darstellt. Für die Grundspannung des Bands ist der Quellungsdruck der Bandscheiben maßgeblich, der die passive Sicherung der aufrechten Haltung garantiert [13]. In der HWS und im Bereich des zervikothorakalen Übergangs tragen die sehnig verstärk-

ten Mm. longus colli und capitis zur Sicherung bei.

Das Lig. longitudinale posterius ist demgegenüber als segmentale Struktur aufzufassen, die aus einer Folge von sich durchflechtenden Faserbündeln besteht (Abb. 1, 2). Es ist im Bereich der Brustwirbelsäule und des thorakolumbalen Übergangs stärker ausgebildet und stellt eigentlich eine Verbindung der Bandscheiben her. Besonders zu beachten ist, daß seine seitlichen Ausläufer bis weit in die Foramina intervertebralia nach lateral reichen.

Struktur des Anulus fibrosus

Die Randbereiche der Wirbelkörperendplatten werden durch die in Lamellen gegliederten Anuli fibrosi miteinander verbunden (Abb. 1, 2). Die

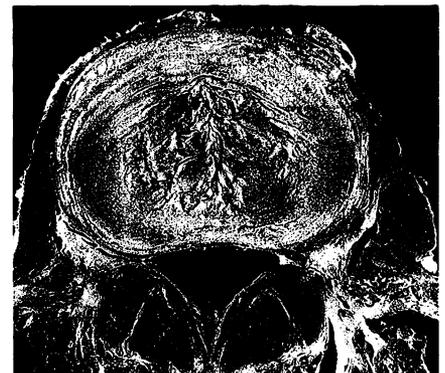


Abb. 1. Lumbale Bandscheiben, Transversalschnitt. Der Anulus fibrosus weist ventral einen größeren Durchmesser als dorsal auf

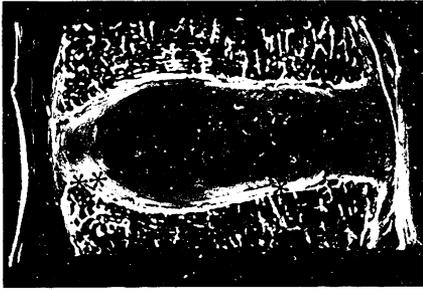


Abb. 2 Sagittalschnitt (Polarisationsmikroskopie). Im polarisierten Licht stellt sich die dichte Faserpackung der hyalinen Knorpelplatten (*), der Abgrenzungen der Wirbelkörper gegen die Bandscheibe, deutlich dar. Die 9–13 Lamellen des Anulus fibrosus weisen eine gegenläufige Orientierung der Faserbündel auf. Sie strahlen in erster Linie in die Randleisten (**) der Wirbelkörperendflächen ein

meisten Fasern strahlen in die Randleisten ein, die als verknöcherte Anteile der Wirbelkörperepiphysen zu verstehen sind. Innerhalb der Randleisten bleibt hyaliner Knorpel als Grenzschicht zur eigentlichen Bandscheibe zeitlebens bestehen (Abb. 2). Die kollagenen Faserplatten der inneren Lamellen des Anulus fibrosus strahlen radiär in die Textur der hyalinen Knorpelplatten ein.

Die gegenläufige Ausrichtung der Fasern in den Lamellen der Anuli fibrosi hat zu vielerlei Interpretationen Anlaß gegeben. Einerseits wird damit eine dichte, druckfeste Hülle gegenüber der Sprengkraft des Nucleus pulposus aufgebaut, andererseits ist diese Faseranordnung Ausdruck einer wesentlichen Mitbeteiligung an der ligamentären Führung des gesamten Bewegungssegments (s. unten). Die funktionelle Komplexität des Anulus fibrosus spiegelt sich darüber hinaus in der reichlichen Einlagerung von Knorpelzellen wider. Damit ist als hauptsächliche Beanspruchung über die Zeit die wechselnde Abfolge von lokalen Zug- und Druckbedingungen anzunehmen.

Struktur des Nucleus pulposus

Der Nucleus pulposus besteht aus einem zarten Geflecht von Kollagenfibrillen, das von verschiedenen Proteoglykanpopulationen erfüllt ist [6, 17, 18, 20]. Das hohe Wasserbindungs-

vermögen, vor allem der Chondroitinsulfate, führt dazu, daß der Nucleus pulposus zu 70–90 % aus Wasser besteht. Im Gegensatz zu den übrigen Knorpelgeweben des menschlichen Körpers nimmt dieser Wassergehalt mit zunehmendem Alter ab [11, 17]. Auch unter günstigsten statischen Bedingungen sinkt der Innendruck des Nucleus pulposus nicht unter 40 mm/Hg [10].

Regionale Unterschiede

Die Bandscheiben weisen in ihrer Struktur charakteristische segmentale Unterschiede auf. Der oben beschriebene Aufbau trifft am besten auf die thorakalen Bandscheiben zu, bei denen insbesondere der Anulus fibrosus eine gleichmäßige zirkuläre Dicke aufweist. Dies scheint im Zusammenhang mit der Orientierung der thorakalen Wirbelgelenke zu stehen, die einer segmentalen Rotation von einigen Graden keinen Widerstand entgegensetzen. Bezeichnenderweise kommt es in der Brustwirbelsäule am seltensten zu Bandscheibenvorfällen.

Die Anuli fibrosi der lumbalen Bandscheiben weisen dagegen eine grundsätzlich andere Geometrie auf [14]. Ihre Dicke ist im vorderen Anteil am größten, im hinteren Umfang sind sie vergleichsweise dünn (Abb. 1, 2). Daraus erklärt sich die Vielzahl der lokalen Rupturen und Vorfälle.

Für diese besondere Ausbildung der lumbalen Bandscheiben können kausale Faktoren geltend gemacht werden. Im Zusammenwirken aller Anteile des Bewegungssegments stellen die lumbalen Wirbelgelenke Begrenzungseinrichtungen der axialen Rotation dar. Zur Herstellung eines Gleichgewichtszustands in der Endphase schwungvoller Rotationen entsteht eine beträchtliche Lagerkraft in den Wirbelgelenken selbst; die Drehmomente müssen von den muskulären und ligamentären Strukturen aufgefangen werden. Da sich bei der Verschiebung des Drehpunkts im Ablauf der Rotation von der Mitte des Nucleus pulposus nach hinten auch das Vorzeichen des Drehmoments ändert, bleibt die maximale Spannung des hinteren Anteils des Anulus fibro-

sus generell begrenzt, was als ausreichender kausaler Faktor für die Dickenanpassung angesehen werden kann. Diese Beobachtung wird dadurch unterstützt, daß sich die unterschiedliche Dicke des Anulus fibrosus erst im Zusammenhang mit der Formänderung der lumbalen Wirbelgelenke, also gegen Ende des 1. Lebensjahrs, entwickelt. In der Fetalzeit ist kein Unterschied in der Geometrie der Disci gegeben.

Die Besonderheit der zervikalen Bandscheiben ergibt sich aus der Form der Endflächen der Halswirbel. Die Ausrichtung der Procc. uncinati bedingt eine besondere mechanische Situation der seitlichen Bandscheibenanteile. Schon innerhalb des 1. Lebensjahrzehnts konnte Töndury das Auftreten von Rissen innerhalb der äußeren Anulusbereiche feststellen (sog. unkovertbrale Spalten) [19]. Diese Spalten sind nur gegen die Foramina intervertebralia hin durch die äußerste Zone des Anulus fibrosus abgegrenzt und können über den dorsalen Bandscheibenbereich in das Zentrum und bis in die vordere Zone durchreißen. Bei einem großen Teil der mitteleuropäischen Population sind vor allem die unteren zervikalen Bandscheiben in vorgerücktem Lebensalter (40–60 Jahre) bereits quer durchrissen. Folge der Insuffizienz der Bandscheiben als Druckkissen ist die lokale Überbeanspruchung des unkovertbralen Bereichs und ggf. eine Unkovertbralarthrose.

Gefäßversorgung

Bekanntermaßen sind die Bandscheiben beim erwachsenen Menschen frei von Gefäßen. Bis zu einem Alter von etwa 7 Jahren finden sich allerdings Blut- und Lymphgefäße in den knorpeligen Endplatten der Wirbelkörper, bis zum ca. 20. Lebensjahr auch noch in den äußersten Zonen des Anulus fibrosus [16]. Der Nucleus pulposus selbst ist zeitlebens ohne direkte Gefäßversorgung. In der Folge von degenerativen Schäden können allerdings wiederum Gefäße vom Wirbelkörper her in den Diskus einwachsen [3].

Die Gefäßlosigkeit der Bandscheiben sollte nicht zur voreiligen Annahme eines niedrigen Stoffwechsels füh-

ren. Untersuchungen über den hohen Turn-over der Proteoglykane weisen auf eine hohe Stoffwechselrate hin. So erneuert sich der äußere Anteil des Faserrings in ca. 2–3 Jahren, der innere Anteil in ca. 3 Jahren, der Kern in ca. 4 Jahren [17]. Gegenüber anderen Geweben besteht nur eine andere Art des Transportmechanismus. Er besteht einerseits im Gradienten verschiedener Stoffwechselanteile, andererseits werden mechanische Faktoren wirksam, die über ungleichmäßige Spannungsverteilungen unter statischen und dynamischen Bedingungen Flüssigkeitsverschiebungen provozieren [7].

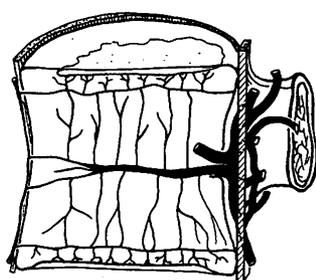
Die kapillären Gefäßlager befinden sich z. T. im Bindegewebe rund um den Anulus fibrosus (Abb. 3). Von wesentlich größerer Bedeutung scheinen aber die Gefäße unterhalb der Endflächen der Wirbelkörper zu sein [1], von denen nach Holm [4] ca. 80 % des Stoffwechselaustausches durch die hyalinen Knorpelplatten der ursprünglichen Wirbelkörperperipherien erfolgt.

Über die rückläufigen Rr. meningei gehen vom Truncus sympathicus und vom Plexus der A. vertebralis dichte vegetative Nervengeflechte aus, die das vordere und das hintere Längsband bedecken [2]. Beim Fetus sind sie auch in den Randzonen der Anuli fibrosi nachzuweisen.

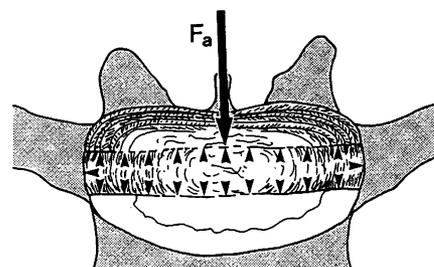
Funktionelle Rolle der Bandscheibe im Bewegungssegment

Die Funktion der segmentalen Bandscheibe ist von 2 Gesichtspunkten her zu werten. Einerseits sind die Bandscheiben als Organe der axialen Lastübertragung anzusehen, andererseits wirken sie in regional unterschiedlicher Weise an der ligamentären Führung der Bewegungssegmente im Rahmen der Kinematik mit.

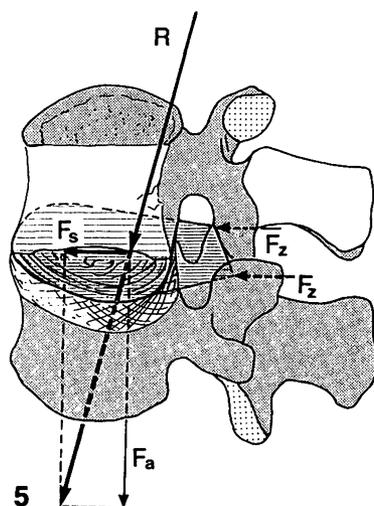
Der Feinbau der knorpeligen Wirbelkörperendplatten und ihrer knöchernen Randleisten sowie die Anordnung der Wirbelkörperspongiosa zeigen darauf hin, daß im Normalfall die senkrecht wirkende axiale (statische oder dynamische) Druckkomponente gleichmäßig auf die gesamte segmentale Endfläche übertragen



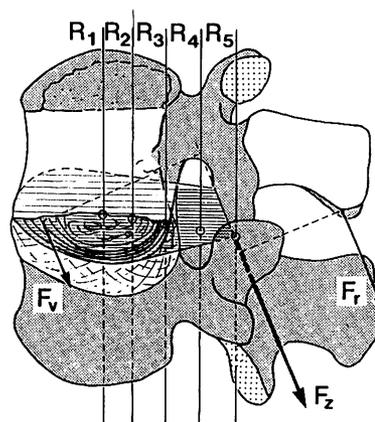
3



4



5



6

Abb. 3. Schema der Gefäßversorgung (nach [1]). Das wichtigste Kapillarlager liegt flächenhaft unter den hyalinen Knorpelplatten

Abb. 4. Axiale Druckübertragung in der LWS

Abb. 5. Funktionsprinzip der Bandscheibe bei axialer statischer Druckbelastung

Abb. 6. Zusammenspiel von Anulus fibrosus und Wirbelgelenken in ihrer Funktion zur Begrenzung der Rotation

Abb. 4–6. Abkürzungen: R, Resultierende; Fs, sagittale Teilkraft; Fa, axiale Teilkraft; Fz, auf die Wirbelgelenke wirkende Teilkraft; Fr, rotatorische Kräfte; Fv, Scherkraft im ventralen Teil des Anulus fibrosus; R1–R5, Lageänderung der Drehpunkte mit zunehmender rotatorischer Kraft

wird (Abb. 4, 5). Dementsprechend ist die Wirbelkörperspongiosa in allen Regionen der Wirbelsäule senkrecht zu den Wirbelkörperendflächen ausgerichtet. Die gesunden Bandscheiben stellen sich damit als Organe der Druckübertragung dar, die in der Lage sind, die Aufnahmefähigkeit der Wirbelkörper von der Fläche her auszunutzen. Ihre Funktion als flüssigkeitsgefülltes Druckpolster bleibt auch bei Positionsänderungen der Wirbelkörper zueinander voll erhalten. Bei (degenerativen) Druckminderungen in den Nuclei pulposi ist diese Funktion aber gestört, in den Endstellungen der Bewegungen nehmen dann die Span-

nungen in den Randzonen sehr stark zu [5].

Auch über einen längeren Zeitraum wirkenden Scherkräften können die Bandscheiben – wie das Beispiel der Spondylolisthesis zeigt – nicht Widerstand leisten. Diese für die Stabilität in allen Segmenten entscheidende Aufgabe wird in erster Linie von den Wirbelgelenken übernommen.

Gegenüber der großen Bedeutung als Drucklager tritt eine oftmals unterstellte Funktion als Stoßdämpfer völlig in den Hintergrund. Eigene Untersuchungen haben gezeigt, daß rein axiale Stöße nur in geringem Maße

über den Gesamtkomplex von Bandscheibe, Wirbelkörperspongiosa und den diese erfüllenden Knochenmarkraum gedämpft werden können [8,12]. Nach diesen Untersuchungen – und dies ist auch eine Erfahrung des praktischen Lebens – findet eine maßgebliche Dämpfung in der Wirbelsäule vornehmlich durch Ausbiegung in der Sagittal- und in der Frontalebene statt.

Nicht zu unterschätzen ist die Rolle der Anulusfasern für die Kinematik [15]. Das Organisationsprinzip des Bandapparats besteht insbesondere in der LWS darin, durch ein System transversaler und schräger Fasern den Bewegungsablauf so zu steuern, daß über den gesamten physiologischen Bewegungsraum Lastspitzen vermieden werden [14, 15]. Die schräg eingestellten Fasern des Anulus fibrosus ergänzen damit die ebenso schräg ausgerichteten Bündel des Lig. interspinale und der Fascia thoracolumbalis sowie der querverlaufenden derben Faserzüge der Gelenkkapseln. Auf die Rolle der Anuli fibrosi bei der Begrenzung der Rotation wurde bereits hingewiesen (Abb. 6).

Voraussetzung für eine sichere Steuerung der Kinematik ist allerdings der ständige Erhalt einer Vorsehnung der ligamentären Strukturen. Dies ist eine sekundäre Leistung des Nucleus pulposus, deren Bedeutung erst dann eindrucklich spürbar wird, wenn sie nicht mehr gewährleistet ist. Im Falle der Druckminderung des Nucleus pulposus kann es zu unkontrollierten Verschiebungen der Wirbel zueinander kommen, wodurch wiederum lokale Spannungsspitzen mit möglichen mikrotraumatischen Folgen entstehen können. Muskuläre Sicherung kann dieser Gefahr zwar vorbeugen, sie auf Dauer aber nicht ausschließen.

Schlußbemerkungen

Die Anordnung der Strukturen der einzelnen Bandscheibe ist nur aus ihrem funktionellen Zusammenspiel innerhalb des gesamten Bewegungssegments zu verstehen. Dies hat zur

Folge, daß bereits die Veränderung eines einzelnen Faktors Auswirkungen auf alle übrigen Anteile des komplexen Bewegungssegments mit sich bringt.

Function-related morphology of the intervertebral discs

Summary

The intervertebral discs contribute to shock absorption only to a limited degree; they are important however, for efficient orientation of axial pressure transmission to the entire surface of the contiguous vertebral bodies. So long as there is sufficient distension of the nuclei pulposi, the anuli fibrosi (particularly those of the lumbar vertebral column) play a part in the ligamentous control of the motion segment. From the 20th year of life onwards the discs are completely avascular, although they show high metabolic turnover. Their water content decreases with advancing age. As early as the first decade of life, beginning in the lateral, uncovertebral zones, clefts appear in the cervical intervertebral discs. These clefts frequently progress to tears involving the whole of the intervertebral disc. [Radiologe (1993) 33: 563–566]

Key words

Intervertebral disc – Epiphyseal ring – Uncovertebral clefts – Vascularization

Literatur

1. Crock HV, Yoshizawa H, Kame SK (1973) Observations on the venous drainage of the human vertebral body. *J Bone Joint Surg [Br]* 55: 528–533
2. Groen GJ, Baljet B, Drukker J Nerves and plexuses of the human vertebral column. *Am J Anat* 188: 282–296
3. Hassler O (1970) The human intervertebral disc. *Acta Orthop Scand* 40: 765–772
4. Holm SH (1990) Nutrition of the intervertebral disc. In: Weinstein JN, Wiesel SW (eds) *The lumbar spine*. Saunders, Philadelphia
5. Horst M, Brinckmann P (1981) Measurement of the distribution of axial stress on the end-plate of the vertebral body. *Spine* 6: 217–232

6. Humzah MD, Soames RW (1988) Human intervertebral disc: structure and function. *Anat Rec* 220: 337–356
7. Krämer J (1973) Biomechanische Veränderungen im lumbalen Bewegungssegment. *Wirbelsäule Forsch Prax* 58
8. Müller-Gerbl M, Ennemoser O, Putz R (1987) An investigation into the transmission of shock through the vertebral column. *Advances Biomaterial* 8: 429–434
9. Myklebust JB, Pintar F, Yoganandan, N, Cusick JF, Maiman D, Myers TJ, Sances A (1988) Tensile strength of spinal ligaments. *Spine* 13: 526–531
10. Nachemson AL (1990) Disc Pressure Measurement. *Spine* 6: 93–97
11. Pedrini-Mille A, Pedrini VA, Tudisco C, Ponseti IV, Weinstein SL, Maynard JA (1983) Proteoglycans of human scoliotic intervertebral discs. *J Bone Joint Surg [Am]* 65: 815–823
12. Putz R (1983) Zur Morphologie und Dynamik der Wirbelsäule. *Radiologe* 23: 145–150
13. Putz R (1990) Funktionelle Morphologie des lumbosakralen Übergangs. *Wirbelsäulen Chirurgie, Spondylolisthesis*. Thieme, Stuttgart
14. Putz R (1992) The detailed functional anatomy of the ligaments of the vertebral column. *Ann Anat* 174: 40–47
15. Putz R (1992) Anatomisch-funktionelle Gesichtspunkte bei der Behandlung von Verletzungen der Wirbelsäule. *Langenbecks Arch Chir [Suppl.] (Kongr. Ber.)*, S 256–262
16. Rudert M, Tillmann B (1993) Lymph and blood supply of the human intervertebral disc. *Acta Orthop Scand* 64: 37–40
17. Rydevik B, Holm S (1975) Pathophysiology of the intervertebral disc and adjacent neural structures. In: Rothman RH, Simeone FA (eds) *The Spine*. Saunders, Philadelphia
18. Schultz R (1990) Zur Altersabhängigkeit der Proteoglycanverteilung in der humanen Zwischenwirbelscheibe. *Inaugural Dissertation Aachen (RWTH)*
19. Töndury G (1956) Entwicklungsgeschichte und Fehlbildungen der Wirbelsäule. *Wirbelsäule Forsch Prax* 7
20. Wassilev W, Kühnel W (1992) Struktur und Funktion der Zwischenwirbelscheibe. *Ann Anat* 174: 54–65

Eingegangen am 20. Mai 1993
Angenommen am 1. Juni 1993

Prof. Dr. R. Putz
Anatomische Anstalt
Lehrstuhl I
Pettenkoferstraße 11
D-80336 München