

# Funktionelle Morphologie der unteren Lendenwirbelsäule

R. Putz

Lehrstuhl III, Anatomisches Institut der Universität, Albertstraße 17, D-7800 Freiburg i. Br.

## Functional morphology of the lower lumbar spine

**Summary.** The lower part of the lumbar vertebral column (L3–S1) with its morphological peculiarities is described with reference to its importance for the entire spine as a functional system. The main stress is on the detailed anatomy of the ligaments and their function in the control of movements. Special reference is made to the connection of the lumbodorsal fascia with the deeper structures. These combine with the muscles to form a damping system, which protects all parts of the "motion segment" in their "end-positions". This mechanical system is dependent on a normal thickness of the intervertebral disc. The two parts of the zygapophysial joints (the medial part in the coronal plane and the lateral more in the sagittal plane) are important in this mechanism. It is necessary to differentiate the functions of the different parts of the erector muscle of the spine. Whereas the longer (superficial) bundles bring about the coarser flexion-extension movements, the shorter (deeper) ones control the fine movements between the adjacent vertebrae. In conclusion, the topography of the vertebral canal and some possible pathological implications are described.

**Key words:** Lumbar spine – Zygapophysial joints – Spinal ligaments – Lumbodorsal fascia – Spinal topography – Biomechanics.

**Zusammenfassung.** Die untere Lendenwirbelsäule (L3–S1) wird mit ihren anatomischen Eigentümlichkeiten als funktioneller Teil innerhalb des Gesamtsystems der Wirbelsäule beschrieben. Das komplizierte Band- und Fasciensystem sorgt zusammen mit der Bandscheibe und den Gelenken für eine Dämpfung, vor allem in den Endstellungen der Bewegungen. Bei erniedrigter Bandscheibe kann dieser Mechanismus allerdings nur noch unvollständig greifen. Eine besondere Bedeutung kommt den Wirbelgelenken mit ihren im allgemeinen gewinkelten Gelenkanteilen zu. Der mediale (eher frontal eingestellte) ist vornehmlich statischen, der laterale (eher sagittal ausgerichtet) dagegen mehr dynamischen Belastungen ausgesetzt. Der meist als Einheit dargestellte M. erector spi-

nae ist differenziert zu betrachten. Während die längeren (oberflächlichen) Muskelbündel die grobe Halte- und Bewegungsarbeit leisten, stimmen die kurzen (tiefen) die Feinbewegungen zwischen zwei jeweils angrenzenden Wirbeln ab. Schließlich werden die Topographie des Wirbelkanals und seines Inhaltes sowie einige sich daraus ableitende pathologische Konsequenzen dargestellt.

**Schlüsselwörter:** Lendenwirbelsäule – Wirbelgelenke – Wirbelsäulenbänder – Lumbodorsalfascie – Wirbelsäulentopographie – Biomechanik.

Vom funktionellen Standpunkt her darf die untere Lendenwirbelsäule nur mit großer Einschränkung für sich allein betrachtet werden. Zu leicht ist der Untersucher geneigt, die Abfolge von Wirbeln und verbindenden Elementen aufgrund seiner segmentalen Symptomatik isoliert zu sehen, ohne die Störung des einzelnen Bauteiles auf seine Beeinflussung des Gesamtsystems des „Organes Wirbelsäule“ zu prüfen.

Wenn hier dennoch der lumbosakrale Übergangsbereich unter Mitberücksichtigung des dritten und vierten Lendenwirbels gewissermaßen aus dem Zusammenhang gerissen wird, so berechtigt nur der Umstand dazu, daß dieser Bereich in sich eine strenge funktionelle Zusammengehörigkeit aufweist und daß er vom diagnostischen Standpunkt her besondere Aufmerksamkeit erfordert.

## Die untere Lendenwirbelsäule als Organ des Bewegungsapparates

Auf den ersten Blick ist die Wirbelsäule eine Abfolge von unregelmäßig geformten Knochen, die durch Bandscheiben und Bänder verbunden werden. Die jeweils zehn Bänder, die gemeinsam mit der Bandscheibe die segmentale Verbindung herstellen, führen exakt den Ablauf der Bewegung der benachbarten Wirbel. Die beiden Wirbelbogengelenke vervollständigen das „Bewegungssegment“ [6].

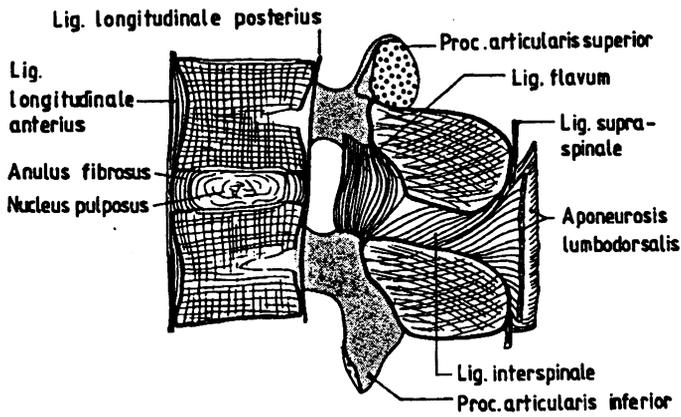
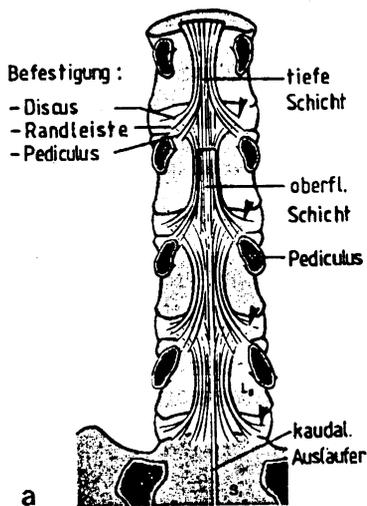


Abb. 1. Bewegungssegment (nach [18])

Die vorderen Bänder verlaufen in Längsrichtung der Wirbelsäule (Abb. 1). Das Lig. longitudinale anterius geht vorne und seitlich eine feste Verbindung mit den Wirbelkörpern ein [20], während das Lig. longitudinale posterius die Hinterfläche der Wirbelkörper und die Vv. basivertebrales überspannt und in erster Linie an den



a



Abb. 2a, b. Lig. longitudinale posterius der Lendenwirbelsäule. a Schematische Darstellung (aus [13]). b Präparat, Pfeile bezeichnen die Taschen, die von den seitlichen Ausläufern des Bandes mit dem Anulus fibrosus in das For. intervertebrale hinein gebildet werden

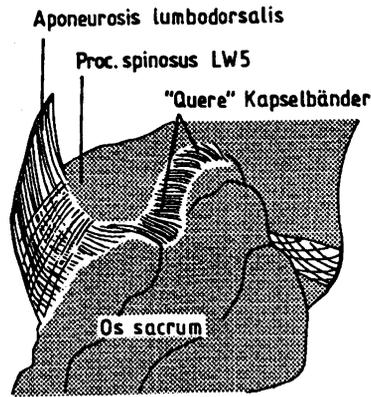


Abb. 3. Lig. interspinale der unteren Lendenwirbelsäule (aus [12])

Bandscheiben und den kranialen Randleisten der Wirbelkörper inseriert. Seine seitlichen Ausziehungen in die Recessus laterales bilden mit dem Anulus fibrosus Taschen (Abb. 2) [10, 13].

Zwischen den seitlichen Fortsätzen der Lendenwirbel, Procc. costales und Procc. accessorii, ziehen segmentale Bänder jeweils in Längsrichtung, Lig. intertransversalia. Diese Bänder begrenzen einen engen Kanal nach lateral, in dem der segmentale Ramus dorsalis des Spinalnerven und die begleitenden Gefäße liegen. Unschwer ist vorzustellen, daß in diesen Bereichen Engstellensyndrome auftreten können. Verkürzungen der Bänder wurden in letzter Zeit in der Literatur vereinzelt beschrieben [14].

Dem Verlauf der hinteren Bänder wurde in der Literatur lange Zeit kaum Beachtung geschenkt. Für das Funktionieren des Gesamtsystems ist es jedoch von größter Bedeutung, daß diese Bänder quer zur Längsachse der Wirbelsäule verlaufen. Die segmentalen Lig. interspinalia weisen eine Richtung von kranial dorsal nach kaudal ventral auf (Abb. 1). Das Band zwischen dem 4. und 5. Dornfortsatz steht mit seinem unteren Anteil nach Prestar [12] mit der dicken Fascia lumbodorsalis in Verbindung (Abb. 3). Auf den ersten Blick ist die funktionelle Bedeutung der festen Verstärkungszüge der lumbalen Gelenkkapsel nicht offenkundig. Während ein Lig. supra-spinale dagegen in der Lendenwirbelsäule praktisch nicht existiert, sind diese als „quere Bänder“ vorhandenen, zugfesten Faserbündel für die Lendenwirbelsäule charakteristisch (Abb. 4).

Die interspinalen Bänder und die Verstärkungszüge der Gelenkkapseln stehen mit der Aponeurosis lumbodorsalis direkt in Verbindung [12]. Die Spannung der Aponeurose bei Kontraktion der autochthonen Rückenmuskulatur vermag damit über die segmental in die Tiefe gerichteten Lig. interspinalia stabilisierend auf die Wirbel im einzelnen zu wirken.

Alle bisher genannten Bänder sind aus kollagenem und daher kaum elastischem Faserwerk aufgebaut. Demgegenüber werden die Laminae der Wirbelbogen in der Lumbalwirbelsäule von bis zu 6 mm dicken elastischen Bändern, Lig. flava, verbunden, deren laterale Anteile die Hinterwände der Recessus laterales bilden (Abb. 5) [14, 22].

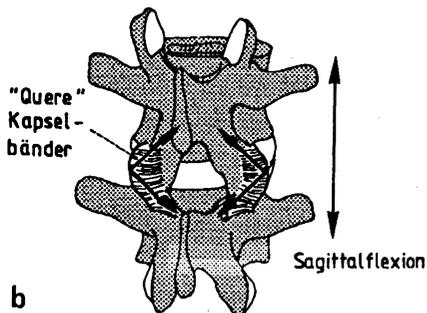
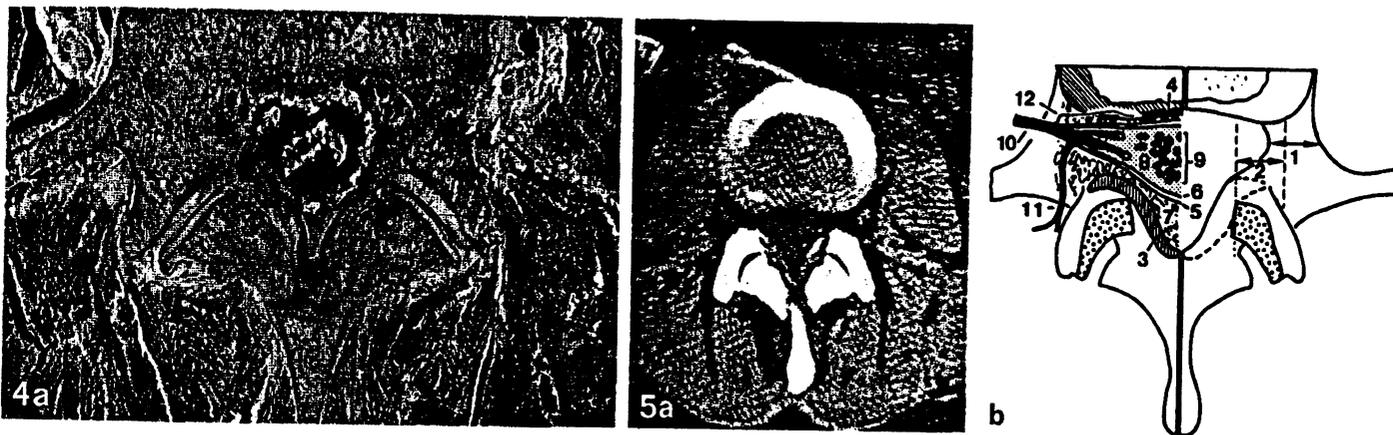


Abb. 4a, b. Verstärkungszüge der Gelenkkapseln: „Quere Bänder“ in der Lendenwirbelsäule (Pfeil). a Präparat. b Schematische Darstellung der langsamen Spannung der Verstärkungszüge in den Endstellungen der Sagittalflexion

Abb. 5a, b. Computertomographische Darstellung der unteren Lendenwirbelsäule. a CT-Bild. b Schematische Darstellung der knöchernen Begrenzungen und der Weichteile. 1 = For. intervertebrale; 2 = Recessus lateralis; 3 = Lig. flavum; 4 = Lig. longitudinale posterius; 5 = Dura mater spinalis; 6 = Arachnoidea mater spinalis; 7 = Cavitas epiduralis; 8 = Cavitas subarachnoidea; 9 = Cauda equina; 10 = N. spinalis; 11 = R. dorsalis; 12 = R. meningeus

Der Bandscheibe kommt im Bewegungssegment eine zentrale Bedeutung zu (Abb. 1). Wie eigene Untersuchungen [15] ergeben haben, ist die Bandscheibe geringer, als allgemein gedacht, an der Stoßdämpfung beteiligt, ihre Bedeutung liegt vielmehr in der Druckübertragung von Wirbelkörper zu Wirbelkörper bei gleichzeitiger Ermöglichung von Lageänderungen der Wirbel zueinander. Es wäre allerdings unsinnig, die Bandscheibe funktionell wiederum für sich allein zu betrachten. Durch ihren Turgor bewirkt sie unter normalen Verhältnissen eine ausreichende Spannung aller Bänder, wodurch diese erst optimal den Bewegungsraum der Wirbelsäule bestimmen können. Darin nämlich liegt ein wesentliches Merkmal der Funktion der Bänder der Wirbelsäule, daß sie in der Endphase der einzelnen Bewegungen langsam zunehmend angespannt werden und damit das Auftreten von hohen Druckspitzen im Bereich der Wirbelgelenke oder an den Kanten der Wirbelkörper in der Endphase jeder

einzelnen Bewegung vermeiden helfen. Die Muskulatur ist häufig damit überfordert, die ruckartigen Verschiebungen einzelner Wirbel zueinander so zu führen, daß keine Überlastung in den Endstellungen auftreten. Bei erniedrigter Bandscheibe (Instabilitas intervertebralis [6]) kann diese Bremsfunktion der Bänder nicht oder nur unvollständig greifen.

Bänder und Bandscheibe beziehen sich im Bewegungsablauf und in den Endstellungen der Bewegung auf die Wirbelgelenke als Abstützelemente. Diese Gelenke übernehmen in allen Teilen der Wirbelsäule einen Anteil der statischen Druckkraft. Dies gilt auch für die untere Lendenwirbelsäule, deren Gelenke mit Hilfe der Computertomographie besonders deutlich zur Darstellung gebracht werden können (Abb. 5). Alle diese Gelenke besitzen einen kleineren, medialen, frontal eingestellten Gelenkanteil und den im allgemeinen mehr beachteten, nach sagittal, dorsal vorragenden, größeren Anteil. Der vorde-

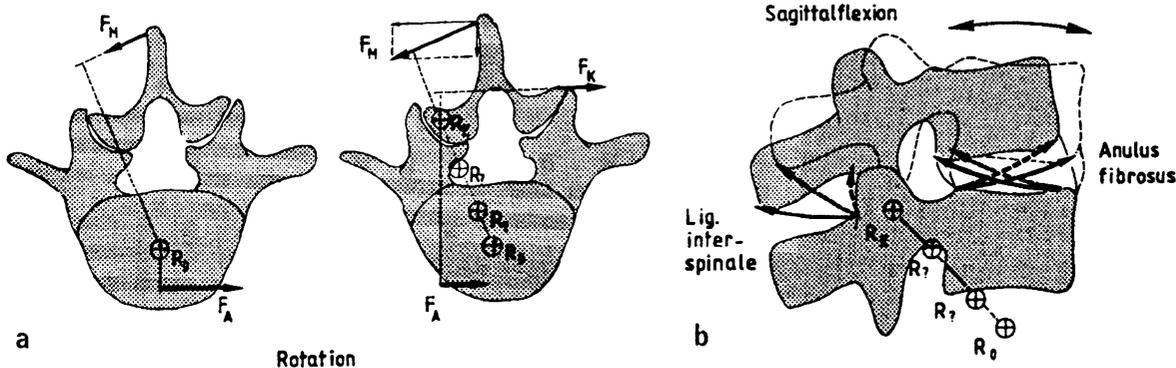


Abb. 6a, b. Zusammenspiel von Bändern und Gelenken in der unteren Lendenwirbelsäule [16]. a Verlagerung des Drehpunktes und damit Änderung der Drehmomente im Ablauf der Rotation. b Verlagerung des Drehpunktes und beanspruchte Faserzüge im Ablauf der Sagittalflexion.  $F_M$  = Muskelkraft;  $F_K$  = Zug der „queren Bänder“ der Gelenkkapsel;  $R_0$  = Drehpunkt von der O-Stellung aus;  $R_7$  = Drehpunkte im Ablauf der Bewegung;  $R_E$  = Drehpunkt (Hebelpunkt[16]) in der Endstellung;  $F_A$  = Zug der Faserbündel des Anulus fibrosus

re Bereich ist an der Aufnahme statischer Druckkräfte beteiligt [7, 8, 14], der hintere Anteil spielt eine große Rolle beim Abfangen von Rotationsbewegungen [14, 16, 17]. Dabei werden die Wirbelgelenke zu „Hebelpunkten“ [14]. In Abb. 6 ist dargestellt, wie das Zusammenspiel der Wirbelgelenke mit den „queren Bändern“ und den Diskusfasern Rotations- u. Sagittalflexionsabläufe zu bremsen in der Lage ist.

Wie oben festgestellt, kann nur ein hoher Innendruck der Bandscheiben einen entsprechenden Spannungszustand der Bänder erhalten. Sind die Bänder nicht ausreichend gespannt, so können Bewegungsabläufe nicht gebremst werden, und es kommt zum ruckartigen Erreichen von Endstellungen. Da das Klaffen der Wirbelgelenke zum normalen Bewegungsmuster der Wirbelgelenke gehört [4, 14, 19], werden ohnehin relativ schwach ausgebildete Strukturen, nämlich die Randzonen der Gelenkknorpel, noch mehr gefährdet. Es versteht sich, daß für den normalen Bewegungsablauf und die Druckverteilung im Bewegungssegment damit den Rückenmuskeln, vor allem den tiefen, kurzen Muskeln, eine besondere Bedeutung zukommt [5].

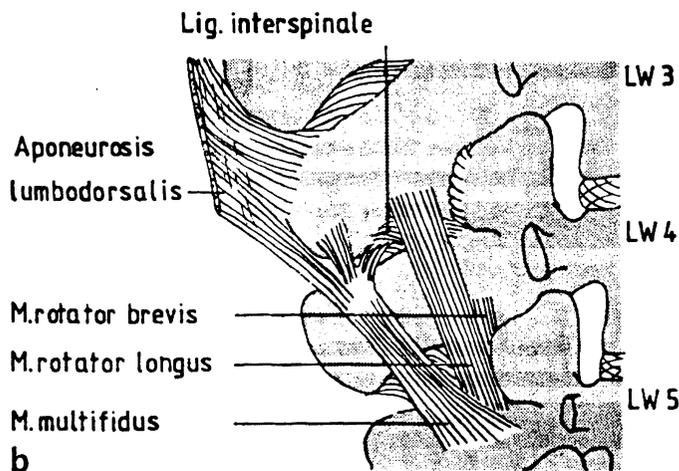
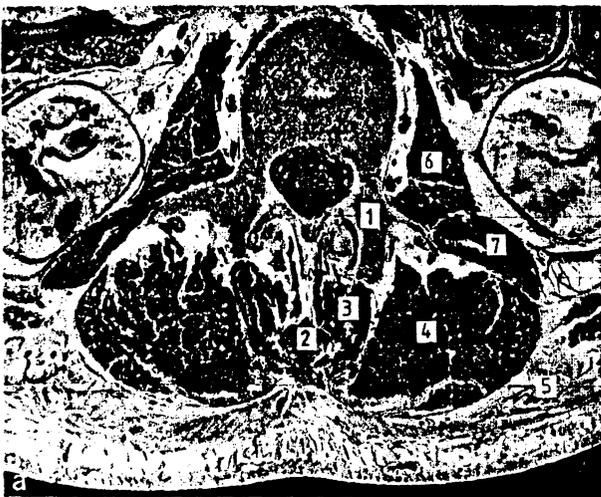


Abb. 7a, b. Autochthone Rückenmuskulatur. a Präparat. b Schematische Darstellung der tiefen Züge der autochthonen Rückenmuskeln. 1 = Pediculus; 2 = Proc. spinosus; 3 = mediale, tiefe Muskeln; 4 = laterale Muskeln; 5 = Aponeurosis lumbodorsalis; 6 = M. psoas; 7 = M. quadratus lumborum

Die autochthone Rückenmuskulatur (Abb. 7) ist von der Tiefe zur Oberfläche hin so angeordnet, daß auf einem System einsegmentaler Muskeln *Mm. rotatores breves*, mehrsegmentale Muskeln zu liegen kommen, *Mm. rotatores longi*, *M. multifidus*, *M. iliocostalis*, *Mm. longissimus*. Den tiefen Muskelbündeln kommt dabei ohne Zweifel die Aufgabe der Feinregulation des Bewegungsablaufes zu, wobei sie durch das Spannungssystem der *Aponeurosis lumbodorsalis* (s. o.) in ihren Funktionen unterstützt werden. Die grobe Haltearbeit an der Wirbelsäule wird dagegen mehr durch die längeren Muskelzweige geleistet, was sich auch in der Bezeichnung *M. erector trunci* widerspiegelt.

### Wirbelsäule als Führungsorgan für Nerven und Blutgefäße

Da das Rückenmark beim Erwachsenen auf Höhe des zweiten bis dritten Lendenwirbelkörpers endet, liegen innerhalb der *Pia mater spinalis* in der unteren Lendenwirbelsäule nur mehr die *Fila radicularia*. Sie bilden die *Cauda equina* und nehmen einen steilen Verlauf nach kaudal bis zu den entsprechenden *Foramina intervertebralia*. Auf ihrem Weg kommen die *Fila radicularia*, die die jeweilige *Radix ventralis* bzw. *dorsalis* bilden, zunehmend in die lateralgelegenen Nischen des *Foramen vertebrale*, die *Recessus laterales*, zu liegen. Diese weder vom Wirbelkanal noch von den *Foramina intervertebralia* scharf abzugrenzenden Übergangszonen stellen sich als nach lateral verjüngende Trichter dar (s. Abb. 5 und 8). Neben der *Pia mater*, die die *Radix ventralis* bzw. *dorsalis* umhüllt, ragen auch die *Arachnoidea mater* und die *Dura mater* ein Stück weit in das *Foramen intervertebrale* hinein. Die untere Kante der durch die weichen Hirnhäute gebildeten Tasche bildet eine scharfe Kante, *Angulus arachnoidalis*, die vor allem in der Myelographie gut zu erkennen ist. Der *Liquor cerebrospinalis* gelangt über die Wurzelaschen bis zum *Ganglion spinale* hinaus. Erst in diesem Bereich geht die *Pia mater* in das *Perineurium* über. Offensichtlich ist dies u. a. ein Ort der *Liquorresorption*.

Die obere und untere Ecke des einzelnen *Recessus lateralis* bzw. Dach und Boden des *Foramen intervertebrale* werden von den *Pediculi* der jeweils benachbarten Wirbelbögen gebildet. Die Vorderwand dieses Trichters wird z. T. vom seitlichen Ausläufer des *Lig. longitudinale posterius*, nach lateral mehr und mehr von den äußeren Schichten des *Anulus fibrosus* aufgebaut. In den untersten Abschnitten der Wirbelsäule ist hier ausschließlich *Anulus-fibrosus-Material*. Die Hinterwand wird manchmal weit durch die *Ligg. flava* vorgebuchtet, die besonders dick die vordere Kapsel der Wirbelbogengelenke bedecken (s. Abb. 1).

Eine Erniedrigung des Bewegungssegmentes, ebenso extreme *Lordosierung* können dadurch zu einer Einengung des *Foramen intervertebralis* führen, daß einerseits der *Discus intervertebralis*, andererseits das *Lig. flavum* zum *Foramen* hin vorgepreßt werden. Obwohl kaum kli-

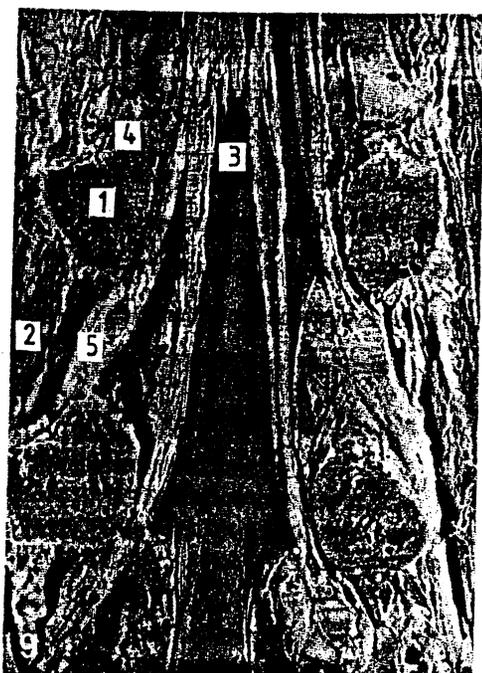


Abb. 8a und b. Topographie des Recessus lateralis. a Medianschnitt, beachte die nach kaudal divergierenden Nervenwurzeln. b Sagittalschnitt durch einige aufeinanderfolgende Recessus

Abb. 9. Frontalschnitt durch die untere Lendenwirbelsäule mit Darstellung des Verlaufes einiger Nervenwurzeln. Beachte den diagonalen Verlauf der jeweils austretenden Nervenwurzeln und des Ganglion im For. intervertebrale. 1 = Pediculus; 2 = For. intervertebrale; 3 = Radices; 4 = Fixierung der Radices am Periost des Pediculus; 5 = Ganglion spinale

nisch beschrieben, sei darauf hingewiesen, daß vor allem das Ansatzgebiet des Lig. flavum häufig und bis zu einigen Millimetern lange Knochenzacken ausbildet, die ebenfalls zu einer Einengung – vor allem des unteren Anteiles – des Foramen intervertebrale führen können.

Der Epiduralraum ist von Fett und dem Plexus venosus vertebralis internus erfüllt. Häufig sieht man an anatomischen Präparaten diesen Plexus mit Blutkoagula prall gefüllt. Nach Clemens [2] stellt der Plexus ein Verbindungssystem zwischen den Venen der Wirbelkörper, Vv. basivertebrales, und den rundum der Wirbelsäule anliegenden Plexus venosi dar. Seine einzelnen Gefäße sind klappenlos, ihre Stromrichtung kann sich damit den lokalen Druckverhältnissen anpassen.

Schließlich liegt im Epiduralraum auch der vom N. spinalis rückläufige Ramus meningeus. Dieser Nervenast, der über die Einzelsegmente hinaus Hirnhäute und liga-

mentäre Strukturen der Wirbelsäule versorgt, soll nach Delank [3] und nach Bogduk [1] vegetative und afferente Fasern enthalten. Mitunter wird beschrieben, daß von diesem Nervenast aus auch die vorderen Anteile der Wirbelbogengelenke innerviert werden. Jedenfalls treten auch vom Ramus dorsalis des N. spinalis Fasern zu den Gelenken.

Von besonderem klinischem Interesse ist die Kenntnis des genauen Verlaufes der Nervenwurzel in den Foramina intervertebralia [siehe auch 10, 11]. Im Recessus lateralis liegt die jeweils kraniale Wurzel am weitesten lateral und biegt scharf entlang der Incisura vertebralis inferior in das Foramen um. Die jeweils kaudale Wurzel durchläuft den Recessus steil nach abwärts und kommt erst an die Innenfläche des nächst kaudal gelegenen Pediculus zu liegen (Abb. 9). Aus dieser Verlaufsbeschreibung wird verständlich, daß in der unteren Lendenwirbelsäule jede ein-

zelle Nervenwurzel zumindest in zwei Segmenten von Veränderungen der Bandscheibe betroffen sein kann. Dieses Verständnis ist für die Differentialdiagnose von besonderer Bedeutung.

## Literatur

1. Bogduk N (1985) The innervation of the vertebral column. *Aust J Physiother* 31:89
2. Clemens HJ (1961) Die Venensysteme der menschlichen Wirbelsäule. De Gruyter, Berlin
3. Delank H (1981) Innervation der Wirbelbogengelenke. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd 87. Hippokrates, Stuttgart
4. Dittmar O (1930) Die sagittal- und lateralflexorische Bewegung der menschlichen Lendenwirbelsäule im Röntgenbild. Zur Mechanologie der Wirbelsäule. I. Mitteilung. *Z Anat Entw Gesch* 92:644–667  
Beobachtungen an den Gelenkfortsätzen der Lendenwirbel bei sagittal- und lateralflexorischer Bewegung. Zur Mechanologie der Wirbelsäule. II. Mitteilung. *Z Anat Entw Gesch* 93:477–483
5. Dofferhof ASM, Vink P (1985) The stabilising function of the mm. iliocostales and the mm. multifidi during walking. *J Anat* 140:329
6. Junghans H (1980) Nomenclatura Columnae vertebralis. Die Wirbelsäule in Forschung und Praxis, Bd 100. Hippokrates, Stuttgart
7. Kummer B (1982) Funktionelle und pathologische Anatomie der Lendenwirbelsäule. *Z Orthop* 119:554
8. Kummer B (1983) Welchen Beitrag leisten die Wirbelgelenke zur Tragfunktion der Wirbelsäule? In: Hackenbroch MH, Refior HJ, Jäger M (Hrsg) Biomechanik der Wirbelsäule. Thieme, Stuttgart
9. Lang J (1984) Funktionelle Anatomie der Lendenwirbelsäule und des benachbarten Nervensystems. In: Hohmann D, Kügelgen B, Liebig K, Schirmer M (Hrsg) Neuroorthopädie, Bd 2. Springer, Berlin Heidelberg New York
10. Louis R (1978) Topographic relationships of the vertebral column, spinal cord and nerve roots. *Anat Clin* 1:3
11. Megele R (1986) Anatomische Grundlagen der lumbalen Bandscheibenoperation. *Z Orthop* 124:114
12. Prestar FJ (1982) Morphologie und Funktion der Ligamenta interspinalia und des Ligamentum supraspinale der Lendenwirbelsäule. *Morphol Med* 2:53
13. Prestar FJ, Putz R (1982) Das Ligamentum longitudinale posterius – Morphologie und Funktion. *Morphol Med* 2:181
14. Putz R (1981) Funktionelle Anatomie der Wirbelgelenke. Normale und Pathologische Anatomie, Bd 43. Thieme, Stuttgart
15. Putz R, Ennemoser O, Künstle M (1981) Zum Dämpfungsverhalten der Wirbelsäule. *Verh Anat Ges* 75:251
16. Putz R (1985) Action conjuguée des ligaments et des articulations des apophyses articulaires au niveau de la colonne lombaire dans la limitation des mouvements. *Ann Kinésithér* 12:1
17. Putz R (1985) The functional morphology of the superior articular processes of the lumbar vertebrae. *J Anat* 143:181
18. Putz R (1985) Wirbelsäule. In: Benninghoff/Goerttler, Makroskopische und mikroskopische Anatomie des Menschen, Bd 1, 14. Aufl, Staubesand J (Hrsg). Urban & Schwarzenberg, München
19. Ravelli A (1955) Das Vakuum-Phänomen (R. Ficksches Zeichen). *RÖFO* 83:236–240
20. Stofft E (1966) Die funktionellen Strukturen des Ligamentum longitudinale anterius. Dissertation Mainz
21. White AA, Panjabi MM (1978) Clinical biomechanics of the spine. Lippincott, Philadelphia
22. Yonghing K, Reilly J, Kirkaldy-Willis WH (1976) The ligamentum flavum. *Spine* 1:226–234