

# Anatomie der Wirbelsäule

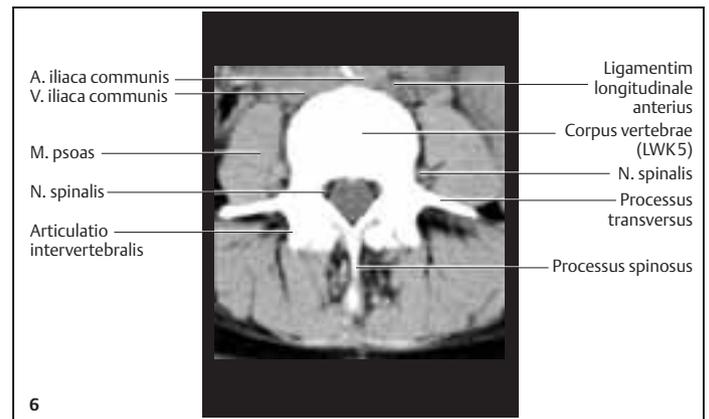
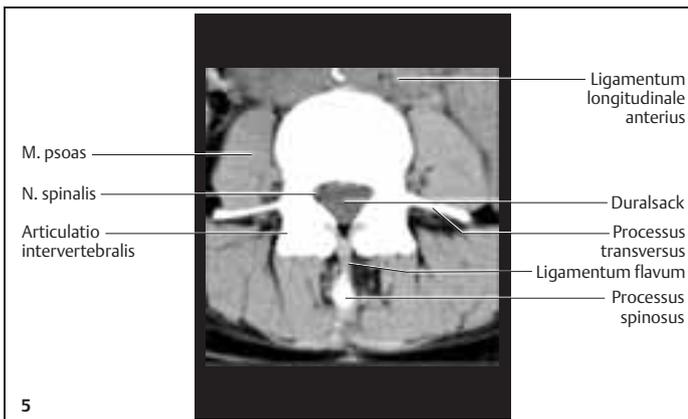
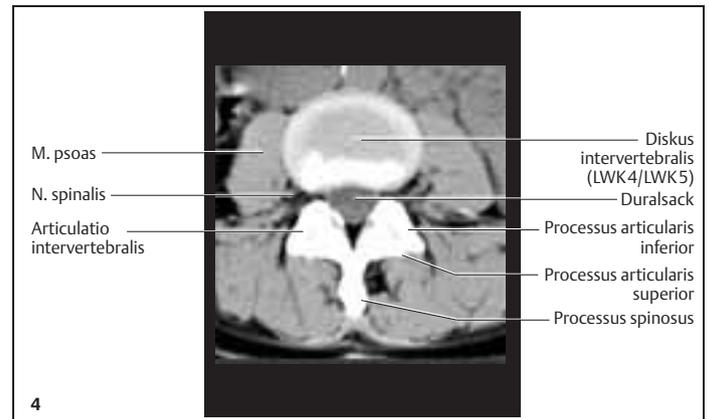
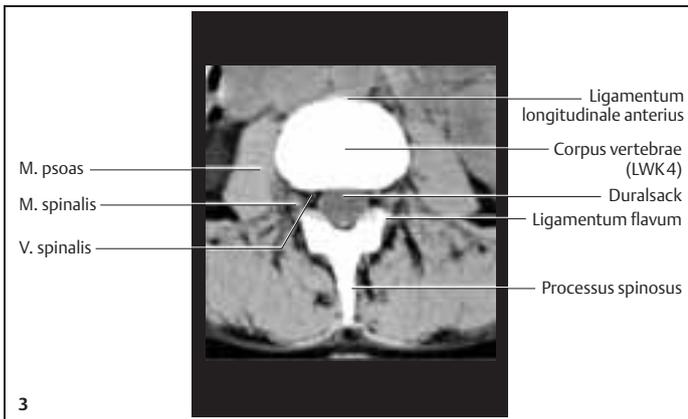
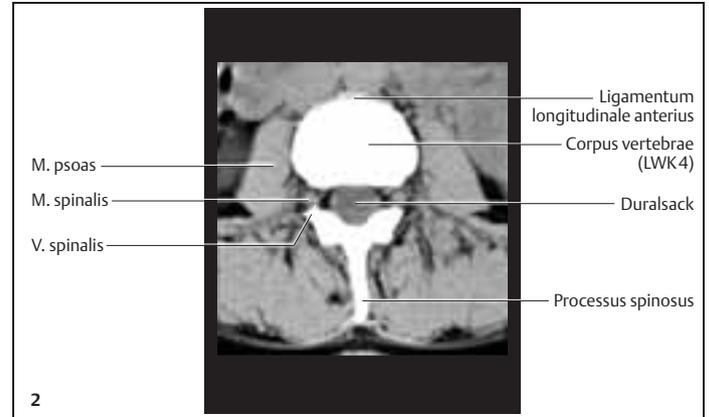
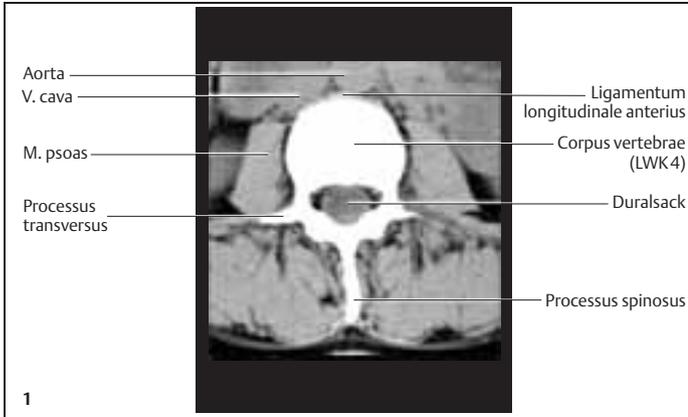
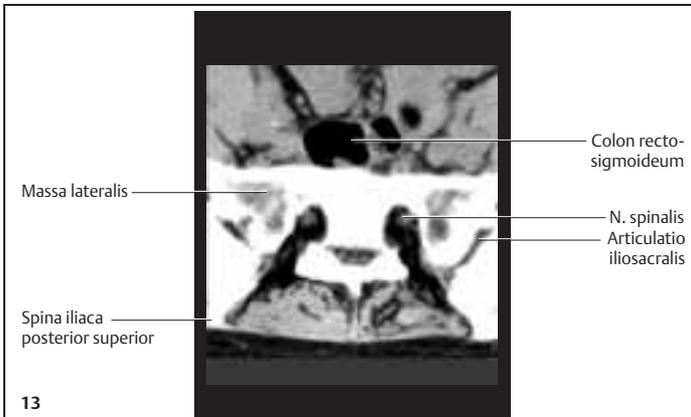
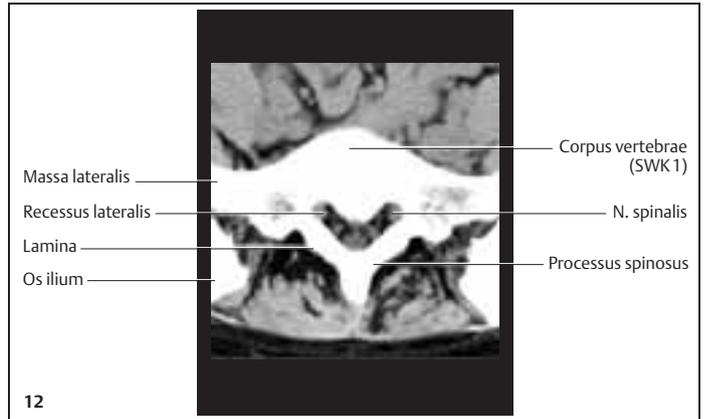
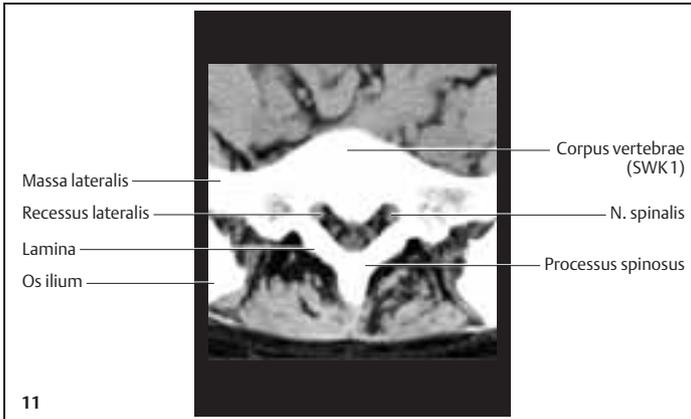
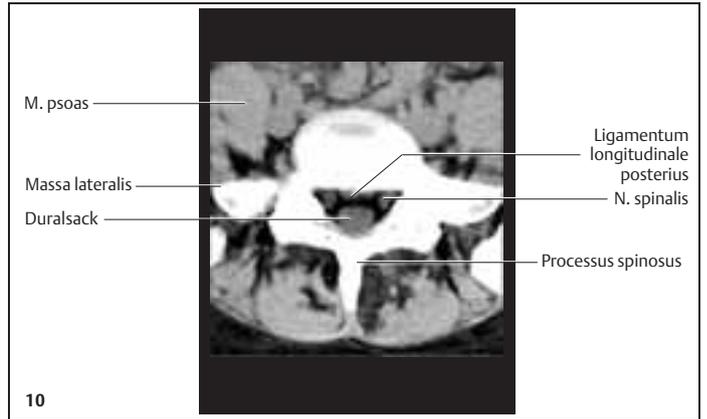
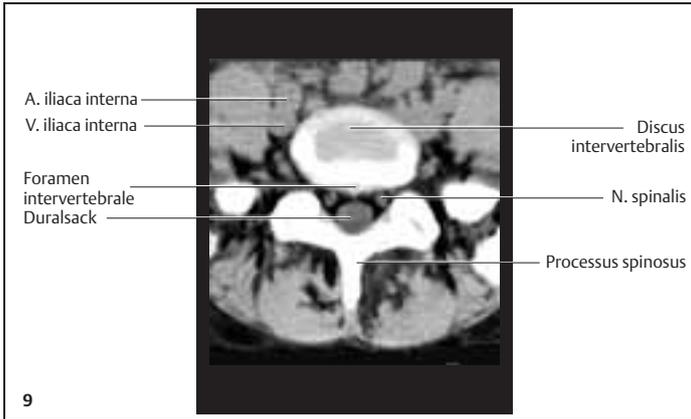
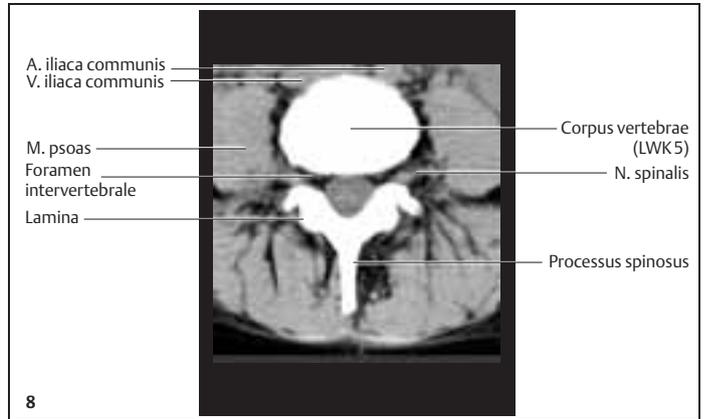
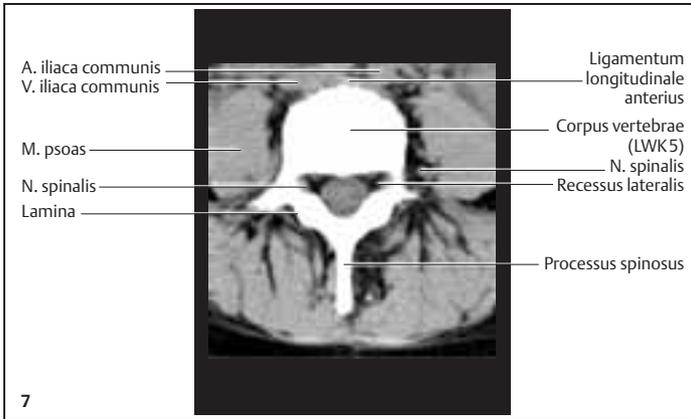


Abb. II. 1-13 Transversale, bandscheibenfachparallele 5-mm-Einzelschichten der LWS. Weichteilfenster.



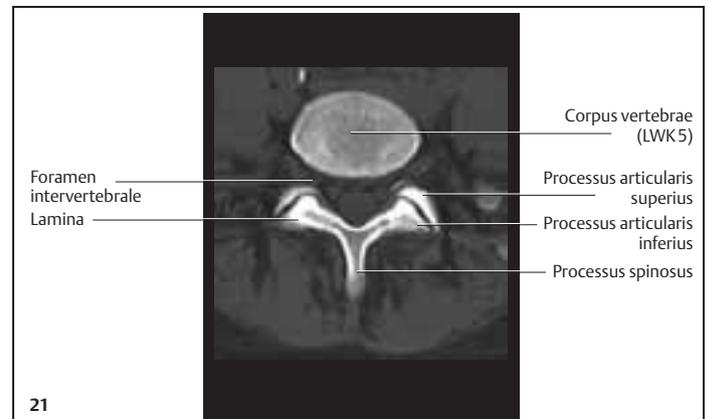
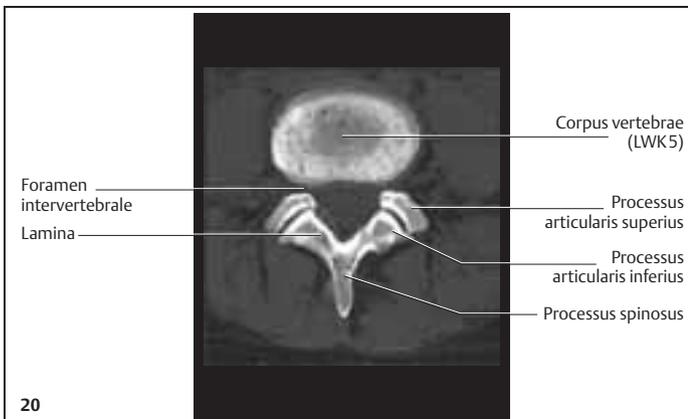
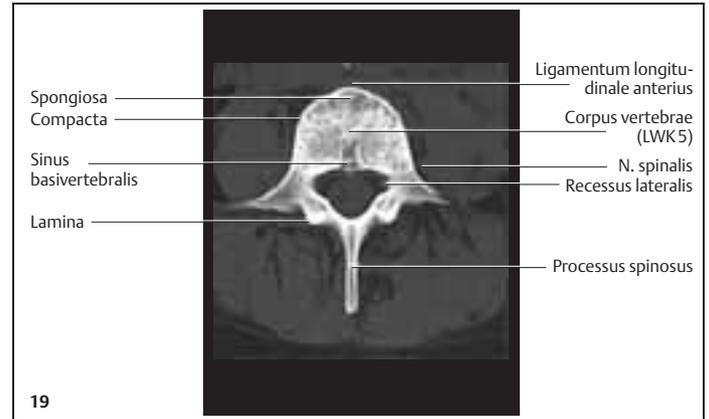
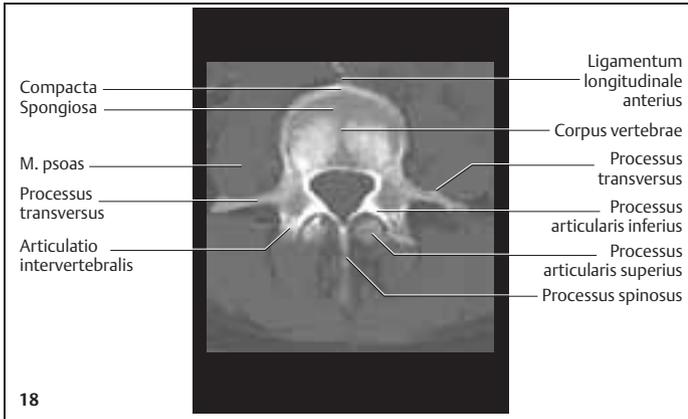
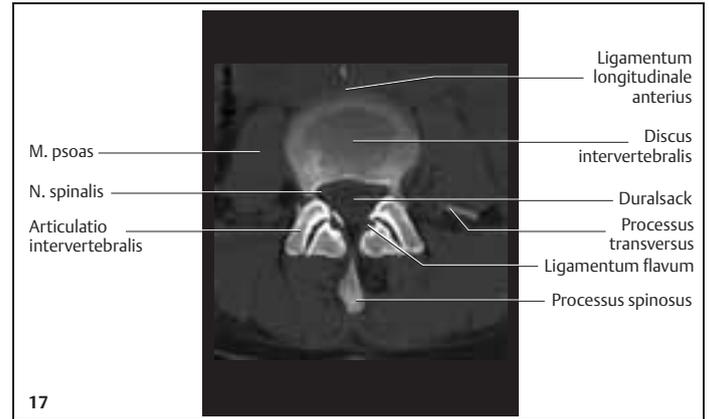
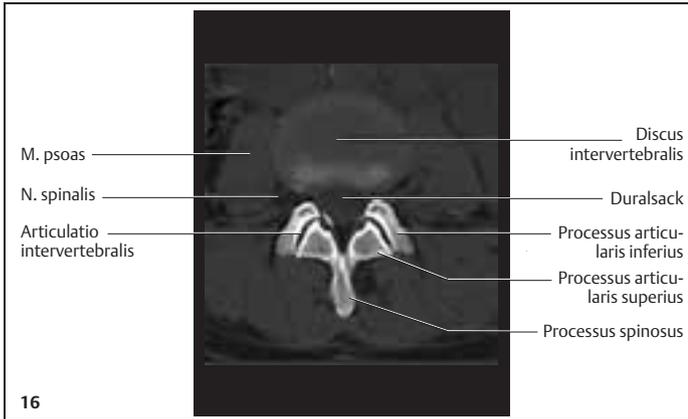
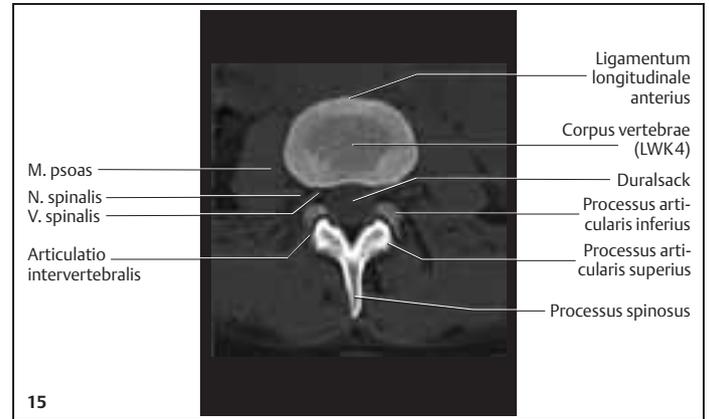
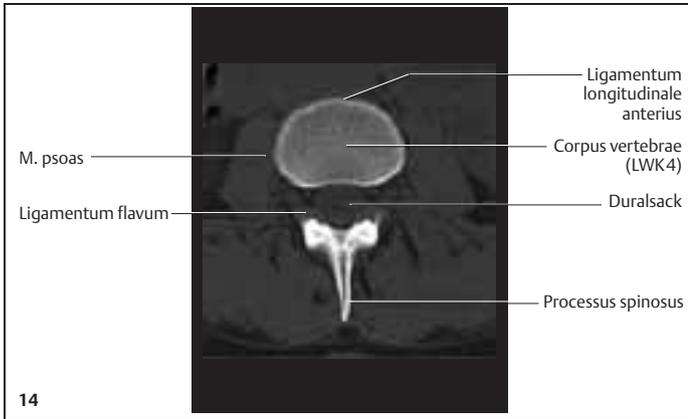
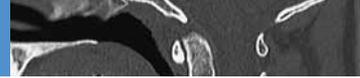


Abb. II. 14–26 Transversale, bandscheibenfachparallele 5-mm-Einzelschichten der LWS. Knochenfenster.

## „Tethered-cord“- Syndrom

Ein Konustiefstand unterhalb von LWK 2 mit verdicktem Filum terminale (2 mm) beweist ein „Tethered-cord“-Syndrom.

Eine Myelomenigozele ist häufig mit einem „Tethered-cord“-Syndrom verbunden.

**Häufigkeit:** Häufige begleitende Fehlbildung bei Myelomenigozele und anderen Syndromen.

**Wegweisender bildmorphologischer Befund:** Tiefstand des Conus medullaris, verdicktes Filum terminale, Nachweis von Fettgewebe im Bereich der Anheftungsstelle.

**Prozedere:** Ideal ist die Untersuchung in der Post-Myelo-CT, die eine sichere Identifizierung des Filum terminale und der Anheftungsstelle erlaubt.

**Einsatz anderer Methoden:** MRT in sagittaler Schichtführung auch zum Nachweis von Zeichen der Myelopathie.

**Fragen, die der Befund beantworten muss:**

- Stand des Conus medullaris in Relation zur LWS?
- Durchmesser des Filum terminale?
- Liegen weitere Fehlbildungen vor?

### Pathogenese

Beim „Tethered-cord“-Syndrom handelt es sich um einen Tiefstand des Conus medullaris, verbunden mit einem verkürzten und verdickten Filum terminale. Ätiologisch liegt ein mangelnder Aszensus des Rückenmarks aufgrund der Anheftung des Filum terminale an der Dura vor. Die Anheftung erfolgt häufig breitbasig in Form eines Lipoms. Beim Längenwachstum der Wirbelsäule entsteht dann ein Zug am Rückenmark, der zu chronisch rezidivierenden Ischämien führt. Ein „Tethered-cord“-Syndrom ist häufig mit einer Myelomenigozele verbunden.

### Häufigkeit

Die Mehrzahl der Patienten mit einer Myelomenigozele weist zusätzlich ein radiologisch nachweisbares „Tethered-cord“-Syndrom auf.

### Klinik

Die häufigsten Symptome sind Schmerzen und begleitende Fehlbildungen wie Skoliose und Fußdeformitäten. Darüber hinaus bestehen häufig motorische Defizite wie z. B. eine Gangunsicherheit sowie Miktions- und Kontinenzstörungen. Über dem Defekt befinden sich häufig Hautveränderungen wie Nävi und Haarbüschel.

Bei allen Patienten mit einer Myelomenigozele muss ein „Tethered-cord“-Syndrom vermutet werden, wenn sich im Verlauf zusätzlich eine Skoliose,

eine Verschlechterung des Gangbilds, eine zunehmende Spastizität der Beine oder Blasenentleerungsstörungen entwickeln und Schmerzen auftreten.

Die Beschwerden führen meist im Alter zwischen 5 und 15 Jahren zur Diagnosestellung.

### CT-Morphologie

Im CT ist bereits nativ häufig ein Lipom an der Anheftungsstelle zu identifizieren. Ein Konustiefstand unterhalb von LWK 2 in Kombination mit einem verdickten Filum terminale mit einem Durchmesser von über 2 mm beweist die Diagnose (Abb. 12.4, Abb. 12.5). Ein sicherer Nachweis lässt mit einem Post-Myelo-CT führen. Hierbei ist auf eine richtige Fenstereinstellung zur Reduktion des Partialvolumeneffekts infolge des umgebenden KM zu achten. Geeignet ist z. B. W = 2500, C = 1000.

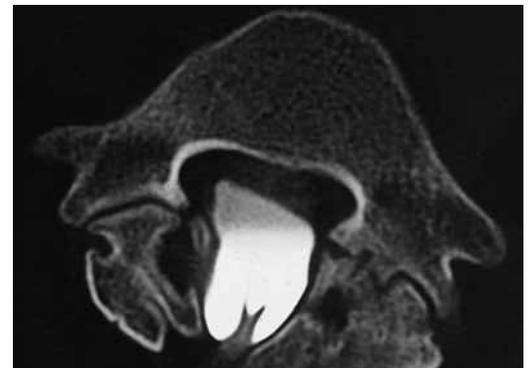


Abb. 12.4 „Tethered-cord“-Syndrom. Post-Myelo-CT mit deutlich erkennbarer dorsaler Anheftung des Filum terminale.



Abb. 12.5 „Tethered-cord“-Syndrom. Kein wesentlicher Tiefstand des Conus medullaris (etwa LWK 2). Das deutlich verdickte Filum terminale endet in einem ausge dehnten intraduralen Lipom.

## Diastematomyelie (Myeloschisis)

**Häufigkeit:** Selten.

**Wegweisender bildmorphologischer Befund:** Teilung des Rückenmarks in sagittaler Orientierung infolge eines knöchernen oder bindegewebigen Septums.

**Prozedere:** Kontinuierliche Darstellung in Dünnschichttechnik, Anfertigung von Sekundärrekonstruktionen, Knochenfenster.

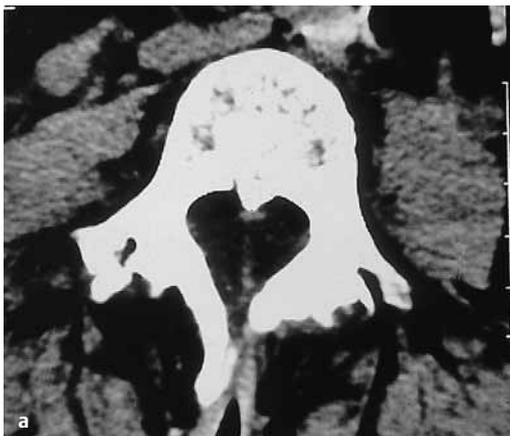
**Einsatz anderer Methoden:** MRT, Post-Myelo-CT. CT kann im Gegensatz zur MRT zwischen einer bindegewebigen und knöchernen Septierung unterscheiden.

**Fragen, die der Befund beantworten muss:**

- Höhe und Ausdehnung der Läsion?
- Beschaffenheit des Septums?
- Liegen weitere Fehlbildungen vor, die das operative Vorgehen beeinflussen können, z. B. ein „Tethered-cord“-Syndrom?

### Pathogenese

Bei der Diastematomyelie handelt es sich um eine angeborene Fehlbildung, die embryologisch als Folge einer unvollständigen Trennung von Chorda dorsalis und Neuroektoderm entsteht. Diese führt im weiteren Verlauf zu einer Längsteilung des Rückenmarks, des Conus medullaris und des Filum terminale durch eine bindegewebige Membran (25%) oder durch ein knöchernes Septum (75%) in mediasagittaler Orientierung. Auch die Diastematomyelie ist häufig mit einer Myelomeningozele, einem „Tethered-cord“-Syndrom und einer angeborenen Skoliose vergesellschaftet und tritt verbunden mit den dort bereits erwähnten Stigmata wie Haarbüscheln am Rücken und Fußdeformitäten auf.



Die Läsion liegt meist in der unteren BWS und oberen LWS. Auf Höhe des Defekts sind die Zwischenwirbelräume oft niedriger als normal oder fehlen vollständig. Die Wirbelkörper in diesem Bereich können fusioniert sein.

Eine Variante dieser Fehlbildung ist die Diplo-myelie, bei der 2 getrennte Halbstränge in einem gemeinsamen Duralsack und ohne nachweisbares bindegewebiges oder knöchernes Septum vorliegen.

### Häufigkeit

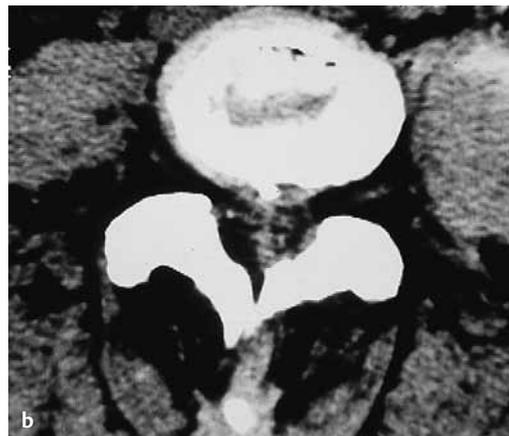
Bei der Diastematomyelie handelt es sich um eine seltene Fehlbildung. Frauen sind etwa 3-mal so häufig betroffen wie Männer.

### Klinik

Die klinischen Symptome unterscheiden sich nicht wesentlich von denen, die im Rahmen eines „Tethered-cord“-Syndroms auftreten können.

### CT-Morphologie

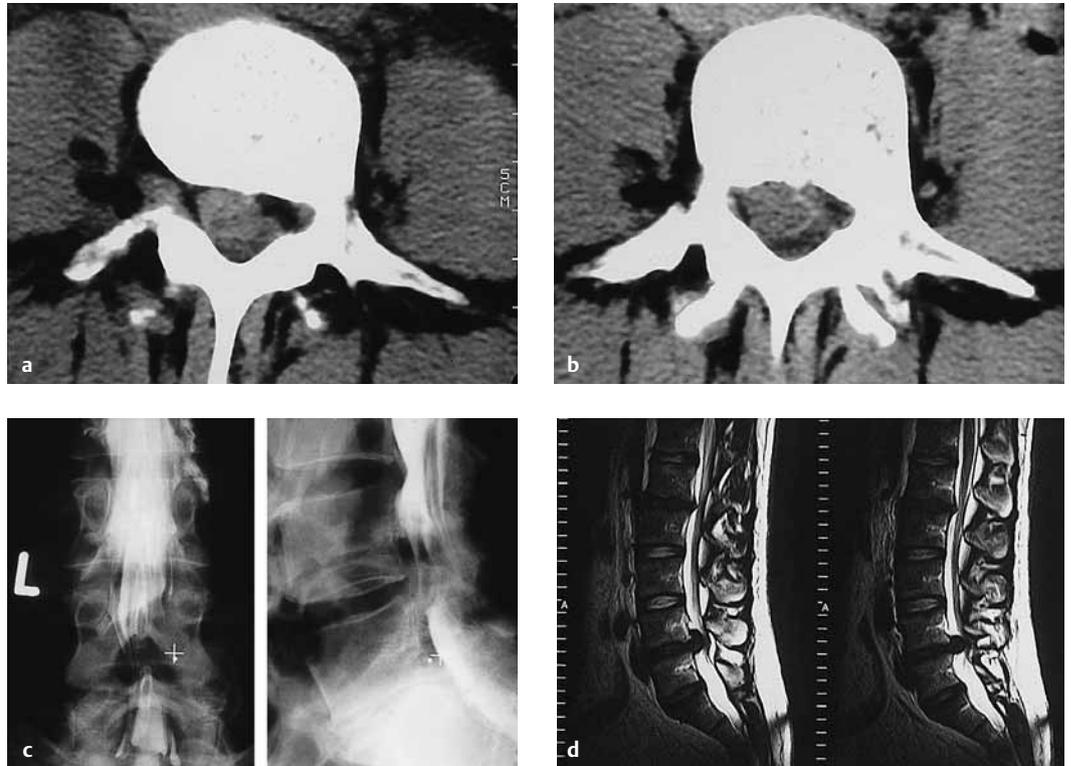
Meist ist die Teilung des Rückenmarks in sagittaler Orientierung im CT deutlich zu erkennen. Diese Teilung ist Folge des knöchernen oder bindegewebigen Septums und ist nahezu immer mit weiteren Fehlbildungen vergesellschaftet (Abb. 12.6, Abb. 12.7, Abb. 12.8).



**Abb. 12.6a u. b** Diastematomyelie. Bei der Diastematomyelie liegen innerhalb des betroffenen Abschnitts 2 separate Halbstränge des Rückenmarks im Spinalkanal. Diese können durch eine bindegewebige Membran voneinander

getrennt sein, wie in diesen beiden Beispielen. Sie können aber auch durch ein knöchernes Septum voneinander getrennt sein, wie im Beispiel von Abb. 12.7.

Die Diastematomyelie ist häufig mit einer Myelomeningozele, einem „Tethered-cord“-Syndrom und einer angeborenen Skoliose vergesellschaftet.

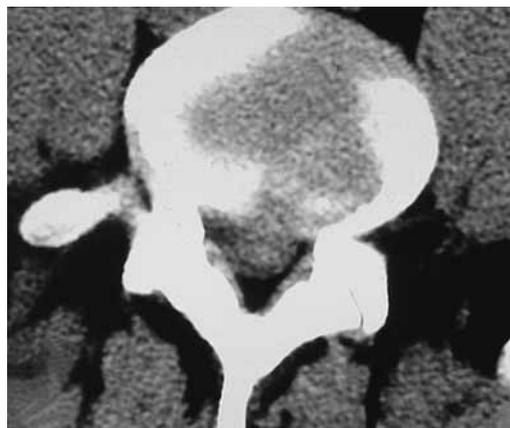


**Abb. 14.11 a–d** Lumbaler Massenprolaps LWK 4/5.

- a Lumbaler Massenprolaps bei LWK 4/5 mit deutlicher Duralsackkompression. Konus-Kauda-Kompressionssymptomatik. Aufgrund des Bildbefunds konnte zunächst nicht sicher zwischen einem Massenprolaps und einer tumorösen Raumforderung unterschieden werden, weshalb man sich zur i.v. Gabe von KM entschloss.
- b Die Raumforderung selbst reichert nicht an. Gut ist jedoch eine verlagerte intraspinale Vene zu erkennen,

die zwischen dem Prolaps und dem verlagerten Duralsack liegt.

- c Im Myelogramm wird das Ausmaß der Duralsackkompression deutlich.
- d Das sagittale T2w MRT stellt die Raumforderung als sicher zur Bandscheibenetage LWK 4/5 gehörig dar. Als Ausdruck der Degeneration und des damit verbundenen Wasserverlusts stellt sich diese hypointens dar.



**Abb. 14.12** Posterozentraler Bandscheibenprolaps.

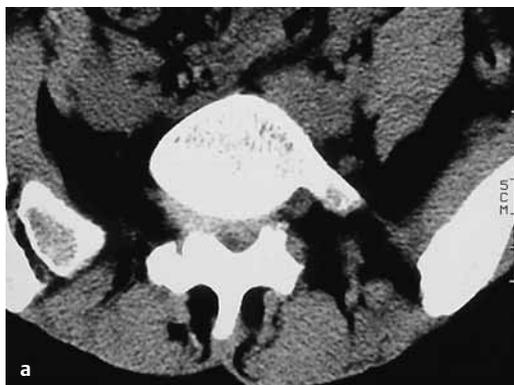
**Lateraler und intraforaminaler Bandscheibenprolaps.** Der laterale (Abb.14.13) und der intraforaminale (Abb.14.14) Bandscheibenprolaps machen zusammen etwa 10% aus und führen typischerweise zur Kompression nur einer Nervenwurzel.

**Extraforaminaler und anteriorer Bandscheibenprolaps.** Diese beiden Formen machen zusammen etwa 29% aus. Sie werden bei der Schnittbilddiagnostik am häufigsten übersehen (Abb.14.15, Abb.14.16). Extraforaminale Vorfälle können, wenn sie sehr ausgedehnt sind, auch den aus der nächsthöheren Etage absteigenden Spinalnerv komprimieren.

**Bilateraler und intraossärer Bandscheibenprolaps.** Der bilaterale Bandscheibenprolaps tritt beidseits des hinteren Längsbands aus. Der intraossäre Bandscheibenprolaps ereignet sich durch die Deckplatte in den Wirbelkörper hinein und wird auch als Schmorl-Knoten bezeichnet (Abb.14.17). Letztere machen etwa 14% aus, sind jedoch meist asymptomatisch und eher als Nebenbefund oder Ausdruck der Bandscheibendegeneration zu werten.

**Intraduraler Bandscheibenprolaps.** Bei dieser extrem seltenen Variante dringt aufgrund einer Adhäsion der Dura und des hinteren Längsbands bzw. des

☒ Schmorl-Knoten sind meist asymptomatisch und eher ein Nebenbefund oder Ausdruck der Bandscheibendegeneration.



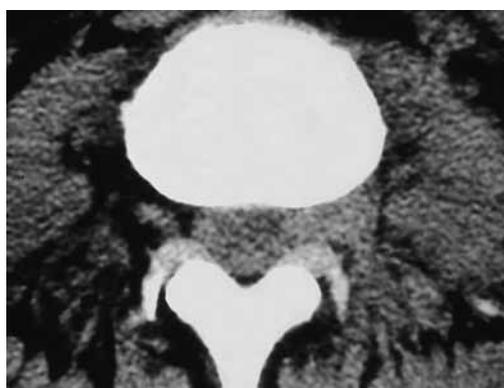
**Abb. 14.13 a u. b** Lateraler Bandscheibenprolaps.

**a** Lateraler Bandscheibenprolaps mit intra- und extraforaminalem Anteil LWK 5/SWK 1 rechts, der die Wurzel L5 anhebt und gegen das Dach des Neuroforamens drängt.

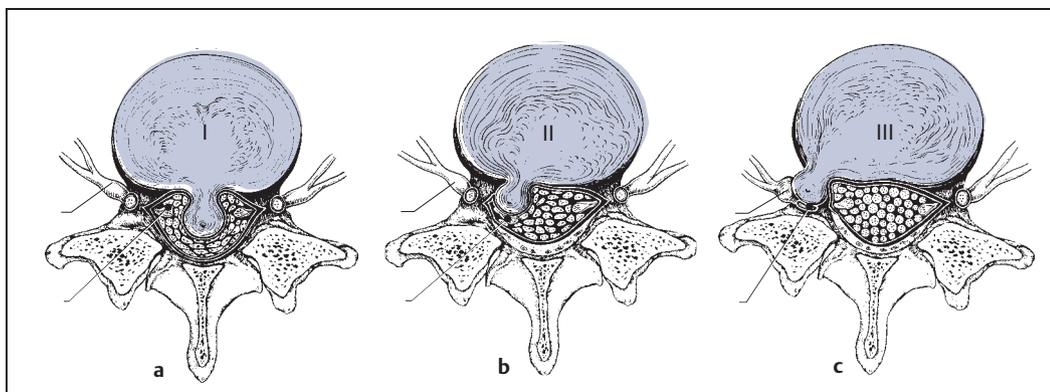
**b** Lateral, breitbasiger Bandscheibenprolaps mit intra- und extraforaminalem Anteil LWK 5/SWK 1 rechts.



**Abb. 14.14** Intraforaminaler Bandscheibenprolaps LWK 4/5 links.



**Abb. 14.15** Extraforaminaler Bandscheibenprolaps bei LWK 3/4 links.



**Abb. 14.16 a-c** Medialer, mediolateraler und lateraler Bandscheibenprolaps.

**a** Medialer Prolaps. Druck auf den Duralsack (Cauda equina).

**b** Mediolateraler Prolaps. Druck auf den Duralsack und eine Nervenwurzel. Geschädigt wird die Nervenwurzel,

die zum knöchernen Segment unterhalb der Bandscheibe gehört.

**c** Lateraler Prolaps. Druck auf die Nervenwurzel des Segments oberhalb der Bandscheibe. Ein ausgedehnter Prolaps kann zusätzlich die Wurzel der betroffenen Bandscheibenetage schädigen.

In den letzten 10–15 Jahren hat die CT – v.a. vor der Einführung der MSCT – im Zuge der technischen Verbesserung und der zunehmenden Verbreitung der MRT mehr und mehr an Boden verloren. Die diagnostischen Fragen, zu deren Beantwortung die CT (derzeit) noch unersetzlich zu sein scheint, haben sich hauptsächlich auf die Darstellung der Feinstruktur der Knochen (z.B. Frakturdiagnostik) und in einigen Zentren auf die Myelo-CT reduziert. Doch im Zuge der minimal invasiven therapeutischen Verfahren gewinnt die CT nun wieder an Bedeutung.

Die Häufigkeit von Rückenleiden und das wachsende Interesse an ambulanten Therapieformen erklären die steigende Nachfrage nach CT-gesteuerten Interventionen an der Wirbelsäule. Nicht nur Radiologen, sondern auch Neurochirurgen, Orthopäden und teils Anästhesisten bieten ihren Patienten – meist in Kooperation mit den Gerätebetreibern – eine Schmerztherapie und minimal invasive rekonstruktive Verfahren wie die Vertebroplastie an.

## Vertebroplastie

Das Verfahren der perkutanen Injektion eines viskösen Knochenzementes in einen strukturgeschwächten schmerzhaften Wirbelkörper wurde erstmals 1984 von Galipert et al. beschrieben. Aufgrund des guten Behandlungserfolges wurde die Indikationsstellung nach und nach ausgeweitet und wird heute unter der Bezeichnung „Vertebroplastie“ und in einer methodischen Abwandlung als Kyphoplastie weltweit eingesetzt. Fallserien aus einzelnen Zentren mit mehreren Hundert und Multicenterstudien mit über 1000 Behandlungen sind keine Seltenheit.

Grund für die hohe Akzeptanz des Verfahrens ist seine ambulante Durchführbarkeit und die niedrige Komplikationsrate sowie aus Patientensicht v.a. die gute analgetische Wirkung. Bei einer großen Multicenterstudie lag die effektive analgetische Wirkung von Vertebroplastie und Kyphoplastie bei 90%, die Komplikationsrate bei nur 0,2%.

**Funktionsprinzip.** Der analgetische Effekt wird von den meisten Autoren auf eine Kombination mehrerer Faktoren zurückgeführt. Die Stabilisierung selbst führt zu einer Reduktion schmerzhafter Mikrobewegungen. Zusätzlich spielen aber wahrscheinlich die bei der Polymerisation von Polymethylmethacrylat (PMMA) entstehende Wärme (bei größeren Mengen bis über 100°C im Knochen und 60°C im Gewebe) und die Neurotoxizität des Materials eine Rolle. Bisher ist der tatsächliche Mechanismus nicht sicher belegt worden. Zudem verhalten sich die Rezepturen verschiedener Hersteller ganz unterschiedlich. Zusätzlich werden die physikochemischen Eigenschaften beeinflusst vom Mischungsverhältnis des flüssigen Monomers und des pulverförmigen Polymers, ebenso durch die Zugabe von Additiven wie Barium-

sulfat, Tantal oder Zirkonium für eine verbesserte Röntgendichte oder die Zugabe von Antibiotika wie Gentamicin. Bariumsulfat senkt z.B. bis zu einem gewissen Anteil nicht die Festigkeit, wohl aber die Polymerisationstemperatur.

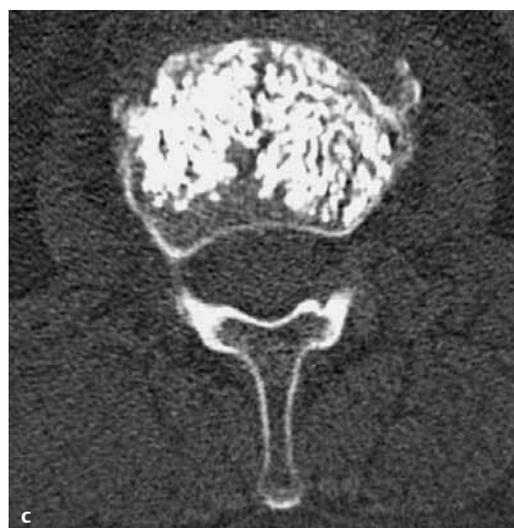
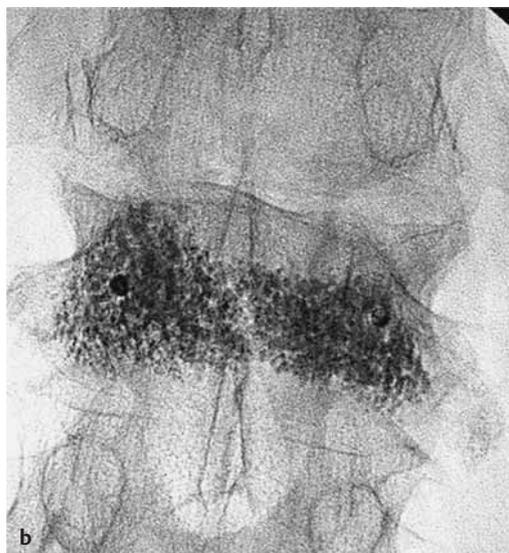
Neuere Untersuchungen befassen sich mit bioaktiven Knochenzementen, die eine verbesserte Adhäsion an den Knochen oder sogar die Induktion einer Heilungsreaktion verheißen. Während in Europa einige Hersteller CE-zertifizierte gebrauchsfertige Einweg-Sets anbieten, in denen bereits röntgendichte Additive enthalten sind, steht in den USA trotz der immensen Fallzahlen eine Zulassung dieser Präparate durch die FDA derzeit noch aus.

### Indikationen

Die Indikation sollte möglichst interdisziplinär gestellt werden. Behandlungsziele sind neben der Schmerzbehandlung auch die Reduktion der aus einer oder mehreren Kompressionsfrakturen folgenden, teils schweren BWS- oder LWS-Kyphose, die zuweilen Ursache einer restriktiven Lungenfunktionsstörung oder einer relevanten Kompression von Abdominalorganen sind.

**Osteoporotische Kompressionsfraktur.** Die klassische und auch häufigste Indikation zur Vertebroplastie ist die frische osteoporotische Kompressionsfraktur eines Thorakal- oder Lumbalwirbelkörpers (Abb. 18.1). Insbesondere ältere Beschreibungen haben einen Zeitraum bis längstens 3 Wochen nach dem Frakturereignis als Begrenzung angesehen. Diese Einschränkungen sind heute zugunsten eines aufwendigeren,

Die analgetische Wirkung der Vertebroplastie wird mit 90 % bei nur 0,2 % Komplikationen angegeben.



**Abb. 18.1 a–c Vertebroplastie.** MR-tomographisch frische osteoporotische Kompressionsfraktur des LWK 1.  
**a** Transpedikuläre Punktion des komprimierten Wirbelkörpers.  
**b** Abschließendes Kontrollbild nach Zementinjektion.  
**c** Zusätzlich angefertigte CT-Kontrolle.

aber ebenso pragmatischen Vorgehens aufgegeben worden. Die meisten Anwender fordern derzeit bei akut oder subakut schmerzhaften Kompressionsfrakturen lediglich ein Korrelat der Fraktur in der MRT in Form eines Marködems im T2w Bild oder (seltener) in der Knochenszintigraphie.

Die Indikation zur Vertebroplastie wird dabei trotz bisher fehlender randomisierter Studien aufgrund der ausnahmslos guten Ergebnisse in den retrospektiven Analysen zunehmend großzügiger gestellt – nicht zuletzt, weil bei osteoporotischen Frakturen die einzige Alternative in einer konservativen Therapie mit zeitweiser Immobilisierung besteht, die jedoch ein Fortschreiten der Demineralisierung begünstigt.

**Osteolytische Metastasen.** Auch osteolytische Metastasen können zu Kompressionsfraktur von Wirbelkörpern führen, die einer Stabilisierung bedürfen.

## Durchführung

**Vorbereitung.** Vor dem Eingriff muss der Patient schriftlich über mögliche Komplikationen aufgeklärt werden. Trotz der geringen Invasivität sollten zumindest die Gerinnungsparameter vor dem Eingriff bestimmt werden.

**Medikation.** Nahezu alle Autoren beschreiben eine Durchführung in Analgosedierung, z.B. mit einer Kombination von Benzodiazepinen (z. B. Midazolam) und Opioiden (z. B. Piritramid) oder auch mit Kurzhypnotika wie Disoprivan (Propofol). Zusätzlich werden Lokalanästhetika zur Infiltration des Zugangsweges appliziert.

Es existieren Berichte über eine Zugabe von Antibiotika zum Knochenzement. Aufgrund der ungünstigen Einflüsse auf die Festigkeit des Zements wird dies aber generell nicht empfohlen. Eine i.v. Anti-