

Bildgebung bei degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule

J. STEINHAGEN, C. R. HABERMANN, J. P. PETERSEN, R. KOTHE,
W. RÜTHER

■ Einleitung

Beschwerden im Bereich der Wirbelsäule gehören zu den häufigsten Ursachen für ambulante ärztliche Konsultationen. Schätzungen gehen davon aus, dass Wirbelsäulenerkrankungen einen Patientenanteil von über 50% in orthopädischen Praxen ausmachen. Innerhalb dieser Gruppe sind es vor allem die funktionellen und degenerativen Veränderungen des Achsenskeletts, die zu Beschwerden führen und eine weitere Abklärung erforderlich machen [7, 8, 10]. Die konventionelle Röntgendiagnostik hat in der bildgebenden Diagnostik degenerativer Wirbelsäulenerkrankungen ihren festen Platz und wird von vielen Autoren immer noch als Goldstandard genannt [13, 15, 28]. Mit der Computertomographie (CT) und der Magnetresonanztomographie (MRT) sind die diagnostischen Möglichkeiten nachhaltig erweitert worden [9]. Dies hat zu einem Rückgang oder gar zum vollständigen Ersatz interventioneller radiologischer Untersuchungstechniken (Diskographie, Myelographie) geführt [17]. Zeitgleich ist aber auch ein unkritischer Gebrauch der erweiterten Schnittbildgebung zu beobachten.

Die konventionelle Röntgendiagnostik erlaubt eine diagnostische und differenzialdiagnostische Abklärung degenerativer Erkrankungen des Achsenskeletts und ermöglicht darüber hinaus in bestimmten Fällen eine prognostische Beurteilung [28, 52]. Zu den Vorteilen gehören der geringe zeitliche Aufwand und die im Vergleich geringen Kosten [40]. Zu den Nachteilen zählt, dass das konventionelle Röntgenbild methodisch bedingt dem zugrunde liegenden pathologischen Prozess „zeitlich“ nachhängt und vor allem frühe Veränderungen der Bandscheiben und angrenzenden Wirbelkörper nur unzureichend erfasst werden können. Als „Momentaufnahme“ können Aussagen zur zeitlichen Dynamik des bisherigen Erkrankungsprozesses nicht getroffen werden [28, 53]. Dem konventionellen Röntgenbild fehlt die dreidimensionale Darstellungsmöglichkeit. Hier können CT und MRT die diagnostische Lücke schließen. Beide Methoden erlauben eine dreidimensionale Darstellung. Die MRT ermöglicht darüber hinaus auch eine Beurteilung der am Achsenorgan beteiligten Weichteilstrukturen und kann frühe Veränderungen des Knochenstoffwechsels der Wirbelkörper darstellen. Das Auflösungsvermögen des konventionellen Röntgenbildes und der CT wird durch die MRT allerdings nicht erreicht. Die MRT ist zu-

dem immer noch aufwändig und kostenintensiv und bei einliegenden Metallimplantaten mit Artefakten belastet [20, 34].

Der rationale Einsatz von konventionellem Röntgenbild, CT und MRT in der Diagnostik von degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen muss sich mit 2 grundsätzlichen Problemen auseinandersetzen. Die Grenze zwischen altersentsprechenden Veränderungen („physiologische Degeneration“) mit einem Funktions- und Leistungsverlust von Zellen, Geweben, Organen und pathologischen Befunden ist nicht exakt zu definieren [50]. Insofern sind in Bezug auf das Achsen skelett die ab dem 4. Lebensjahrzehnt röntgenologisch nachweisbaren degenerativen Veränderungen als physiologisch anzusehen.

Selbst wenn eindeutig pathologische Veränderungen vorliegen, ist eine Korrelation zum klinischen Befund häufig schwierig [14, 26, 45]. So kann ein fortgeschrittener Degenerationsprozess eines lumbalen Segments völlig beschwerdefrei sein, das darüber liegende Segment jedoch bei noch radiologisch moderatem Befund für die Rückenschmerzen verantwortlich sein. Große Bandscheibenvorfälle können vollständig asymptomatisch bleiben, während bereits intradiskale Massenverschiebungen mit erheblichen Schmerzen einhergehen können [51].

Aus den bisherigen Ausführungen lässt sich ableiten, dass konventionelles Röntgenbild, CT und MRT in Bezug auf die klinische Symptomatik unspezifisch sind. Gleichzeitig haben sie aber eine hohe differenzialdiagnostische Bedeutung, indem sie eine Abgrenzung zu inflammatorischen, traumatischen, neoplastischen und metabolischen Prozessen erlauben [46]. Mehr noch als in anderen Bereichen des Bewegungssystems kann erst durch die genaue Kenntnis von den Wirbelsäulenerkrankungen eine sinnvolle Einordnung und Gewichtung der konventionellen Röntgendiagnostik und der Schnittbildgebung erfolgen. Die Interpretation der morphologischen Befunde ist somit immer eine interdisziplinäre Aufgabe.

■ Prinzip der Methoden

Das Prinzip der konventionellen Radiographie darf als bekannt vorausgesetzt werden und wurde kurz im Kapitel über die rheumatoide Arthritis dargestellt [48]. Ausgangspunkt der konventionellen Röntgendiagnostik an der Wirbelsäule stellt die Nativaufnahme in 2 senkrecht zueinander stehenden Strahlengängen dar. Die Notwendigkeit der 2. Ebene ergibt sich aus der methodisch bedingten Summation von Informationen eines dreidimensionalen Körpers und der letztlich zweidimensionalen Abbildung auf dem Film.

Das Problem des Summationseffektes konnte durch die konventionelle Tomographie und später durch die CT weitgehend ausgeschaltet werden. Bei der CT wird der Bildaufbau durch Röntgenschnittaufnahmen mit Hilfe eines Computers ermöglicht [39]. Neben der überlagerungsfreien Abbildung von Organen kann mit Hilfe der CT eine sehr differenzierte Darstel-

lung unterschiedlicher Dichteareale erfolgen. Spiral-CT und „Multi-slice-CT“ stellen Weiterentwicklungen dar, die mit einer Verbesserung der Abbildungsqualität einhergehen.

Die MRT kommt ohne Röntgenstrahlen aus und basiert vereinfacht auf einem Magnetfeld und Hochfrequenzimpulsen [11, 24]. Eine kurze Erörterung des Prinzips der MRT findet sich in der Publikation über die MRT bei der rheumatoiden Arthritis [43].

■ Technische Voraussetzungen

Für die Durchführung der konventionellen Röntgenaufnahmen, sei es in herkömmlicher Technik oder aber in digitaler Technik, sind keine speziellen Anforderungen zu stellen. Somit ist die Durchführung mit jeder technischen Ausstattung möglich. Es sollte ein 400er Film-Folien-System Verwendung finden. (Siehe auch den Artikel über konventionelle Röntgendiagnostik bei der rheumatoiden Arthritis [48]).

Die Durchführung der MRT sollte standardmäßig mit einem 1,5 Tesla-Magneten durchgeführt werden. Allerdings sind auch mit geringeren Feldstärken verwertbare Bilddaten zu akquirieren. Insbesondere liegen diese geringeren Feldstärken bei offenen Systemen („open-MR“) vor. Diese haben den nicht zu unterschätzenden Vorteil, dass klaustrophobische Patienten ohne Sedierung untersucht werden können. Bei Untersuchungen der Halswirbelsäule sollte neben der Körperspule obligat eine Halbspule Verwendung finden [30].

■ Praktische Durchführung

Konventionelle Röntgenuntersuchung

Röntgenaufnahmen der Wirbelsäule mit der Frage nach degenerativen Veränderungen sollten grundsätzlich im Stand in 2 Ebenen durchgeführt werden. Bei der a.-p.-Aufnahme der Halswirbelsäule sollte entweder der Kopf bei geschlossenem Mund leicht angehoben werden, was eine zusätzliche Zielaufnahme des Dens axis notwendig macht, oder aber der Mund während der Aufnahme vom Patienten geöffnet und geschlossen werden (klappern). Aufgrund der möglichen Bewegungsartefakte sämtlicher abgebildeter Skelettanteile ist jedoch erstgenannte Methode zu bevorzugen. Des Weiteren sollte darauf geachtet werden, dass der Patient die Schultern bei der seitlichen Aufnahme der Halswirbelsäule hängen lässt, um die unteren beiden Halswirbelkörper sicher darzustellen. Zur Vereinfachung können dem Patienten alternativ Gewichte in die Hände gegeben werden, um dieses Qualitätskriterium zu erfüllen.

Auch die Aufnahmen der Brustwirbelsäule sowie der Lendenwirbelsäule im sagittalen Strahlengang werden im Gegensatz zur Wirbelsäulenganzauf-

nahme im a.-p.-Strahlengang durchgeführt. Zur Feindiagnostik ist trotz der stärkeren Strahlenbelastung der a.-p.-Strahlengang anzuwenden. Bei den Aufnahmen im seitlichen Strahlengang der Brustwirbelsäule und der Lendenwirbelsäule sind die Arme des Patienten anzuheben. Trotz der Elevation der Arme sind der 1. und 2. Brustwirbel im seitlichen Strahlengang nicht darstellbar.

Der Film-Fokus-Abstand wird in der Literatur mit 110 cm angegeben. In der Regel ist dieser Abstand ausreichend. Sollten die durchgeführten Aufnahmen jedoch zur präoperativen Planung herangezogen werden, sollte der Film-Fokus-Abstand mit 140 cm gewählt werden, um den Vergrößerungseffekt zu minimieren.

Computertomographie

Die Untersuchung erfolgt in Rückenlage. Aus dem so genannten „scout view“ kann eine Höhenlokalisierung für die weiteren Scans erfolgen. Ist der pathologische Prozess auf ein einzelnes Bewegungssegment begrenzt, reicht die Darstellung einer Wirbelkörperhöhe oberhalb und unterhalb des betroffenen Wirbelkörpers. Die Kombination aus Myelographie und CT (Myelo-CT) ist vor allem bei instabilen Patienten indiziert, die nicht einer magnetresonanztomographischen Untersuchung unterzogen werden können.

Magnetresonanztomographie

Bei der Durchführung der MRT eines Wirbelsäulenabschnitts bilden die sagittale sowie die axiale Präparation die obligaten Schichtführungen. Dabei sollte bei allen Sequenzen eine Schichtdicke von 4 mm nicht überschritten werden. Ratsam ist es, zu Beginn einer Untersuchung nach Durchführung eines Topogramms, eine flüssigkeitssensitive Sequenz in sagittaler Schichtführung durchzuführen, um etwaige frische Deck- oder Grundplattensinterungen von älteren Geschehen abzugrenzen. Hier bieten sich so genannte „Inversion-recovery-Sequenzen“ an. Alternativ wären T2-gewichtete, fett-supprimierte Sequenzen durchzuführen, die gegenüber intraspongiosen Ödemen etwas weniger sensitiv sind, jedoch eine höhere anatomische Information bieten. Sodann sollten T1- und T2-gewichtete sagittale Spin-Echo- bzw. Turbo Spin-Echo-Sequenzen durchgeführt werden.

Anhand dieser Bilddaten können die axialen Schichtstapel geplant werden. Die gesamte Abdeckung der Hals-, Brust- oder Lendenwirbelsäule ist mittels der axialen Schichtführung technisch nicht möglich und aufgrund der sagittalen Bilddaten auch nicht nötig. Die detaillierten Sequenzparameter variieren von Hersteller zu Hersteller, sodass deren Angabe den Rahmen dieser Arbeit überschreiten würde.

■ **Vor- und Nachteile der verschiedenen bildgebenden Verfahren bei degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen**

Vorteile Röntgenbild

- Kurzfristige und flächendeckende Verfügbarkeit,
- kurze Untersuchungszeit,
- Aufnahmen in Funktionsstellung möglich,
- Abbildung mit hoher Ortsauflösung des Knochens,
- schnelle differenzialdiagnostische Abklärung,
- Beurteilung des Krankheitsprozesses im Verlauf,
- Planungsinstrument für den chirurgischen Eingriff.

Nachteile Röntgenbild

- Beurteilung früher Krankheitsphasen nur eingeschränkt möglich,
- Strahlenbelastung,
- eingeschränkte Korrelation zwischen radiologischer Veränderung und klinischem Befund,
- keine Weichteildarstellung (Bandscheiben, Spinalkanal, Nerven),
- zweidimensionale Summationsaufnahme.

Vorteile Computertomographie

- Dreidimensionale überlagerungsfreie Abbildung,
- hohe Ortsauflösung für knöcherne Strukturen (Frakturdiagnostik),
- wenig Artefakte bei einliegendem Osteosynthesematerial,
- im Vergleich zur MRT kurze Untersuchungszeit.

Nachteile Computertomographie

- Strahlenbelastung,
- eingeschränkte Weichteildarstellung (Myelondiagnostik).

Vorteile Magnetresonanztomographie

- Abbildung von Weichteilstrukturen der Wirbelsäule (z. B. Bandscheibe, Bandstrukturen, Rückenmark),
- Frühveränderungen der Bandscheiben und Wirbelkörper sind darstellbar,
- dreidimensionale Abbildung,
- keine ionisierende Strahlenbelastung,
- Kontrastmittelgabe mit guter differenzialdiagnostischer Abgrenzung entzündlicher, neoplastischer, degenerativer Veränderungen.

Nachteile Magnetresonanztomographie

- Hoher Kosten- und Zeitaufwand,
- keine Aufnahme in Funktionsstellung (Olisthesis, atlantodentale Instabilität, Rigidität bei Skoliosen),
- geringere Auflösung des Knochens (Frakturbeurteilung),
- Artefakte durch metallische Implantate.

■ Vergleich der Wertigkeit der verschiedenen bildgebenden Verfahren bei degenerativen Erkrankungen der Wirbelsäule

Die radiologischen Manifestationsformen der Wirbelsäulendegeneration können prinzipiell in allen Abschnitten der Wirbelsäule beobachtet werden. Bezogen auf die Häufigkeit klinischer Symptome kommt der Lendenwirbelsäule eine besondere Bedeutung zu. Fast 2/3 aller Patienten mit einem Wirbelsäulenleiden klagen über lumbale Schmerzen [31]. Die zweitgrößte Gruppe wird von den Zervikalsyndromen gebildet; symptomatische thorakale Degenerationsprozesse sind hingegen selten.

Nachfolgend sollen zunächst die konventionell-radiologischen und magnetresonanz- bzw. computertomographischen Phänomene degenerativer Wirbelsäulenveränderungen beschrieben werden. Die klinische Interpretation der bildgebenden Befunde erfolgt im Abschn. „Korrelation zwischen bildgebenden und klinischen Befunden und Eignung der Methode zur Verlaufsbeurteilung“. Bei der Diagnostik degenerativer Veränderungen der Wirbelsäule hat die MRT die CT (einschließlich Myelo-CT) weitgehend ersetzen können. Die CT hat jedoch bei rein knöchernen Prozessen (z.B. Trauma) oder bei einliegendem Osteosynthesematerial (z.B. Kontrolle der Schraubenlage) einen unveränderten Stellenwert.

Degenerative Lumbalsyndrome

Als Ausgangspunkt für den Degenerationsprozess an der Lendenwirbelsäule werden die morphologischen und funktionellen Veränderungen der Bandscheibe angesehen (Diskose). Sie spielen sich bevorzugt in den Segmenten L3/L4, L4/L5 und L5/S1 ab.

■ Degenerative Veränderungen des Discus intervertebralis (Diskose, Chondrose).

Frühe degenerative Veränderungen des Bandscheibengewebes können erst seit Einführung der MRT erfasst werden. Aufgrund des hohen Wassergehalts ist der Nucleus pulposus in den T1-gewichteten Sequenzen mäßiggradig signalarm, T2-gewichtet signalreich. Der Anulus fibrosus ist in beiden Wichtungen signalarm. Stadieneinteilung [36, 38, 60]:

- *Stadium I:* Die ab der 4. Lebensdekade erkennbare hypointense horizontale Linie im Nucleus pulposus wird als erste degenerative Veränderung der Bandscheibe angesehen.
- *Stadium II:* Sukzessive schwächt sich die Hyperintensität im Nucleus pulposus in der T2-Wichtung ab (Abb. 13.1 a).
- *Stadium III:* Durch Einrisse im Anulus fibrosus bei unverändert hohem Innendruck der Bandscheibe drücken sich Anteile des Nucleus pulposus in die Spalten des Anulus und führen schließlich zu einer Protrusion.
- *Stadium IV:* Wird der Anulus fibrosus durchbrochen, spricht man von einem Bandscheibenprolaps (Abb. 13.1 a,b). Dieser kann subligamentär, d.h. ohne Durchtrennung des hinteren Längsbandes, oder aber nach

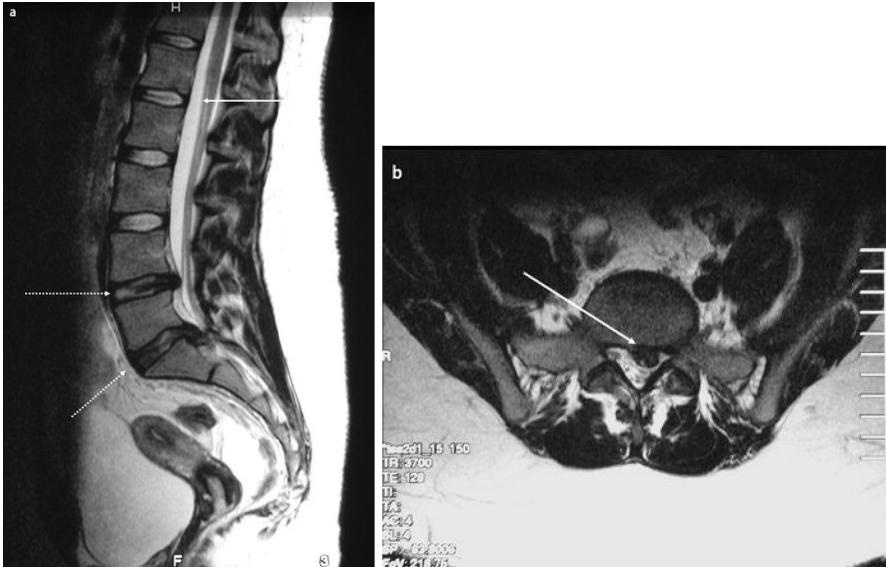


Abb. 13.1. MRT der LWS in sagittaler und transversaler Schnittführung. **a** In dem Segment L1/L2 (*durchgehender Pfeil*) hypointense Linie im Nucleus pulposus als Zeichen einer frühen Degeneration (Stadium I). In den Segmenten L4/L5 und L5/S1 (*gestrichelter Pfeil*) ist eine deutliche Abschwächung der Bandscheibenhypertensität zu erkennen. **b** Zusätzlich zeigt sich in beiden Segmenten ein Bandscheibenprolaps (Stadium IV) mit Einengung des Spinalkanals in der transversalen Schichtung

Zerreißung des Ligaments bzw. der seitlich davon gelegenen epiduralen Membran vorliegen.

- **Stadium V:** Hat das prolabierte Gewebe den Kontakt zur Bandscheibe verloren, spricht man von einem Sequester.

■ **Höhenminderung der Zwischenwirbelräume.** Die stadienhaften degenerativen Veränderungen des Bandscheibengewebes (Chondrose) können zu nächst konventionell-radiologisch „stumm“ bleiben, weil sie sich in einem röntgenologisch transparenten Raum abspielen. Rissbildungen im Nucleus pulposus können sich allerdings mit Flüssigkeit oder Gas fllen und dann röntgenologisch als *Vakuumphnomen* zusammen mit einer *Höhenminderung* des Zwischenwirbelraums (Abb. 13.2) als konventionell-radiologisches Frühzeichen eines degenerativ veränderten Bandscheibensegments bewertet werden [21, 47].

■ **Reaktion von Grund- und Deckplatten (Osteochondrose).** Durch den Degenerationsprozess des Bandscheibengewebes kommt es reaktiv zu diskunahen Knochenveränderungen. Die verstärkte Belastung des subdiskalen Knochens führt zu Mikrofrakturen, Einblutungen, Fibrosierungen und Nekrosen. Auch hier kann die MRT morphologische Veränderungen früher aufzeigen als das konventionelle Röntgenbild. Ähnlich wie bei der Diskose gibt



Abb. 13.2. Höhenminderung des Intervertebralraums L4/L5 (Pfeil) mit beginnender ventraler Spondylophytenbildung. Das Alignment der Wirbelkörperhinterkanten ist intakt



Abb. 13.3. Modic-II-Läsion mit Fettmarkkonversion in dem Segment L4/L5 (gestrichelter Pfeil) bei fortgeschrittenem degenerativen Lumbalsyndrom

es auch für die Veränderung des diskusnahen Knochens eine Stadieneinteilung [41]:

- Dabei wird das in den T2-Wichtungen erkennbare hyperintense subchondrale Ödem als *Modic I Läsion* bezeichnet und als pseudoentzündliche Reaktion des Knochens bewertet.
- Im weiteren Verlauf kann es zu einer Fettmarkkonversion kommen (Abb. 13.3), die T1-gewichtet zu einer auffälligen Hyperintensität führt (*Modic II Läsion*).



Abb. 13.4. Erosive Osteochondrose in dem Segment L4/L5 (*durchgehender Pfeil*). Grund- und Deckplatte sind unregelmäßig strukturiert. Zusätzlich zeigen sich ein beginnendes degeneratives Wirbelgleiten und eine Spondylarthrose (*gestrichelter Pfeil*)

- Als *Modic III Läsion* werden die subchondralen Sklerosierungen bezeichnet, die sich T1- und T2-gewichtet hypointens darstellen und schließlich zu einer auch konventionell-radiologisch erkennbaren *subdiskalen Sklerose* an Grund- und Deckplatten [12] führen. In manchen Fällen sind röntgenologisch zudem subdiskale *Geröllzysten* erkennbar. Die mechanische Instabilität der Grund- und Deckplatten kann zu Einbrüchen und damit zu Irregularitäten der Grund- und Deckplatten führen. Es entsteht das Bild einer *erosiven Osteochondrose* (Abb. 13.4, [27]).
- **Spondylophyten.** Die Veränderungen des Zwischenwirbelraums und der angrenzenden Grund- und Deckplatten gehen zusätzlich mit einer pathologischen Biomechanik des Bewegungssegments einher. Bevorzugt im Bereich der intervertebralen Bandverbindungen kommt es reaktiv zu Ossifikationen mit Osteophytenbildung (*Spondylophyten*; Abb. 13.5). Diese zeigen konventionell-radiologisch eine typische Konfiguration mit zunächst horizontalem und dann vertikalem Verlauf und erlauben beispielsweise eine differenzialdiagnostische Abklärung gegenüber Syndesmophyten bei der Spondyloarthritis [1].
- **Spondylarthrose.** Die degenerativen Veränderungen des Zwischenwirbelraums gehen mit einer Veränderung der mechanischen Belastung in den Intervertebralgelenken einher. Als „echte“ Gelenke zeigen sie alle typischen

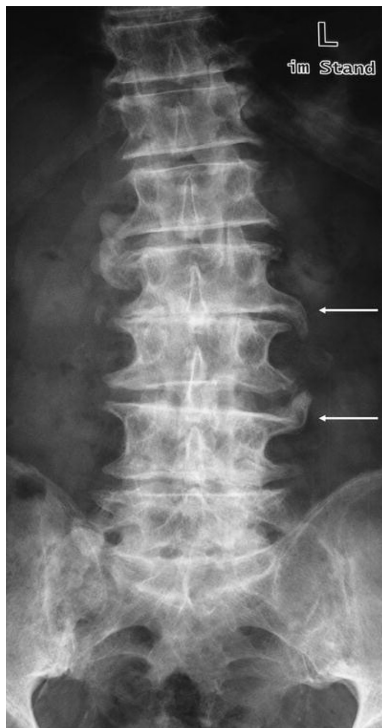


Abb. 13.5. Multisegmentale Osteochondrose mit markanter Spondylophytenbildung L2/L3 und L3/L4. Typisch sind der zunächst horizontale Abgang und der nachfolgende vertikale Verlauf der Spondylophyten (Pfeile)

Veränderungen synovialer Gelenke. Konventionell-radiologisch sind neben einer subchondralen Sklerosierung vor allem die *osteophytären Anbauten* von potenzieller klinischer Relevanz (Abb. 13.2), weil sie zu einer Einengung der Foramina intervertebralia führen können [4, 35]. Naturgemäß fehlt dem konventionellen Röntgenbild die dreidimensionale Darstellung, sodass die Abbildung von osteophytären Anbauten in der CT wesentlich besser gelingt [54]. Bei der räumlichen Zuordnung der Knochenappositionen zu den Strukturen des Spinalkanals und der Nervenwurzeln bringt erneut die MRT wesentliche Vorteile.

Die Arthrose der Facettengelenke kann in der MRT-Untersuchung in 4 Grade eingeteilt werden: Leichte Gelenkspaltverschmälerungen oder diskrete Osteophytenbildungen werden als *Grad 2-Läsion* dem unauffälligen Intervertebralgelenk (*Grad 1*) gegenübergestellt. Ist zusätzlich eine subchondrale Sklerose erkennbar, ist *Grad 3* erreicht. Stärkere Osteophyten markieren den Übergang zu *Grad 4* (Abb. 13.6, [22]).

■ **Degenerative Spondylolisthesen.** Osteochondrose und Spondylarthrose eines Bewegungssegments können zu einem ventralen Gleitvorgang eines Wirbelkörpers führen. Am häufigsten gleitet dabei der LWK 4 gegenüber dem LWK 5 nach ventral (Abb. 13.7). Da kein substanzieller Defekt der Interartikularportion wie bei der „echten“ Spondylolisthesis besteht, spricht

Abb. 13.6. Hypertrophie und osteophytäre Anbauten am Facettengelenk (*Pfeile*). Subchondrales Ödem, osteophytärer Anbau und Aufhebung des Gelenkspaltes markieren das Stadium IV in der MRT

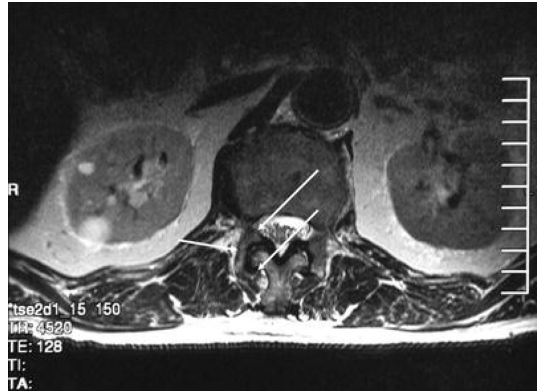


Abb. 13.7. Degeneratives Wirbelgleiten (Pseudo-spondylolisthesis) L4/L5 bei fortgeschrittener Osteochondrose. Das Alignment der Wirbelkörperhinterkante ist durch den Gleitvorgang gestört (*Pfeil*)



man von einer *Pseudo-spondylolisthesis* [42]. Sie kann zu einer Stenosierung des Spinalkanals beitragen. Umgekehrt kann es auch zu einem Versatz des Wirbelkörpers nach dorsal kommen.

Die *Spondylolisthesis* lässt sich am häufigsten zwischen L5/S1 beobachten. Das Ausmaß der Gleitvorgänge kann wie bei den isthmischen Spondylolisthesen in der Seitenaufnahme quantifiziert werden (Einteilung nach Meyerding Grad 1 bis 4, [37]). Zusätzliche Funktionsaufnahmen in Flexions- und Extensionsstellung geben Hinweise auf das Vorliegen einer

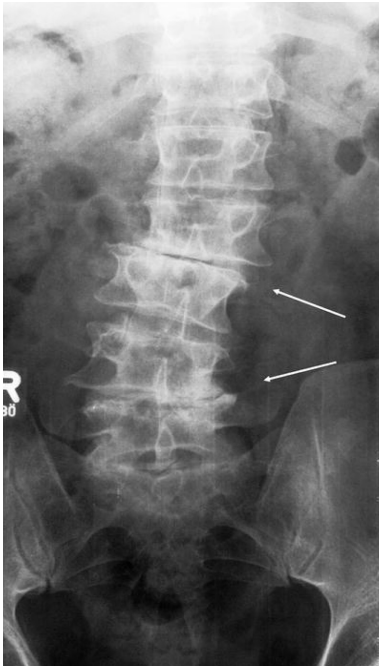


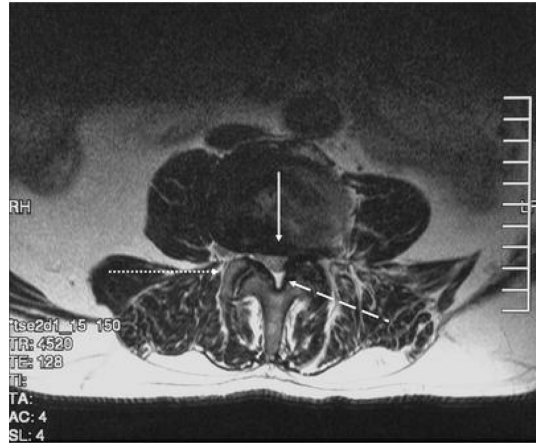
Abb. 13.8. Degeneratives Drehgleiten L2/L3 und L4/L5. Die segmentale Instabilität hat zu einer Rotation der Wirbelkörper geführt. Die Wirbelsäule gerät in der Frontalebene zunehmend aus dem Lot

segmentalen Instabilität. Durch das Gleiten der Wirbelkörper kann es zu einer relevanten Einengung des Spinalkanals oder der Neuroforamina kommen, die mit der MRT darstellbar sind.

■ **Degeneratives Drehgleiten.** Die degenerativ bedingte Instabilität eines Bewegungssegments kann nicht nur in der Sagittalebene zu einem Gleitvorgang führen, sondern auch eine *Rotationskomponente* aufweisen (Abb. 13.8). Folge ist die Ausbildung einer degenerativen Skoliose, die sich nicht immer von einer idiopathischen Skoliose unterscheiden lässt. Ein degeneratives Drehgleiten kommt nahezu ausschließlich im Bereich der Lendenwirbelsäule vor [25, 57].

■ **Spinalkanalstenose.** Die beschriebenen degenerativen Veränderungen der Lendenwirbelsäule können zu einer klinisch relevanten Einengung des Wirbelkanals führen (Abb. 13.9). Konventionell-radiologisch sind die segmentale Höhenminderung, die osteophytären Knochenappositionen sowie die Gleit- und Rotationsvorgänge der Wirbelkörper bei entsprechender Symptomatik richtungweisend. Sowohl die früher gebräuchliche konventionelle Myelographie als auch die Myelo-CT sind mittlerweile bis auf wenige Fragestellungen (dynamische Untersuchung) durch die MRT abgelöst worden [19]. Ursachen (Pseudohypertrophie des Flavums, Osteophyten, Bandscheibenprolaps) und Wirkung (interlaminäre Enge, Einengung des Neuroforamens) können erkannt und räumlich zugeordnet werden [17, 33].

Abb. 13.9. Degenerative Veränderungen des Facettengelenks (*kurz gestrichelter Pfeil*), Pseudohypertrophie des Flavums (*lang gestrichelter Pfeil*) und Vorwölbungen der Bandscheibe (*durchgehender Pfeil*) führen zu einer Einengung des Spinalkanals



Degenerative Zervikalsyndrome

Klinisch und radiologisch werden Erkrankungen der Halswirbelsäule in einen oberen und einen mittleren/unteren Abschnitt unterteilt. Die klinisch relevanten Veränderungen spielen sich dabei eher in den unteren Segmenten der Halswirbelsäule ab.

■ **Obere Halswirbelsäule.** Zur oberen Halswirbelsäule werden die Segmente C0/C1 (Hinterhaupt/Atlas) und C1/C2 (Atlas/Axis) gezählt. Primäre degenerative Veränderungen in Atlantoookzipitalgelenken sind selten [5]. Häufig gehen dann Veränderungen der Mobilität in den mittleren und unteren HWS-Abschnitten oder posttraumatische Instabilitäten den atlantoookzipitalen Veränderungen voraus. Es lassen sich in der konventionellen Röntgendiagnostik Gelenkspaltverschmälerungen, osteophytäre Randanbauten und subchondrale Sklerosierungen beobachten. Auch die degenerativen Veränderungen in den Atlantoaxialgelenken entstehen meist auf dem Boden von posttraumatischen oder postarthritischen ligamentären Instabilitäten [55]. Osteophytäre Anbauten am kranialen Rand des Atlantodentalgelenks werden als *peridentale Aureole* bezeichnet.

Funktionsaufnahmen der Halswirbelsäule in Extension/Flexion können Hinweise auf eine atlantoaxiale Instabilität geben. Die MRT spielt bei degenerativen Erkrankungen der oberen Halswirbelsäule eine untergeordnete Rolle.

■ **Mittlere und untere Halswirbelsäule.** Es sind bevorzugt die beiden unteren Segmente der Halswirbelsäule (C5/C6 und C6/C7), die degenerativen Veränderungen unterliegen. *Diskosen/Chondrosen* und *Osteochondrosen* mit überwiegend ventraler *Spondylophytenbildung* sind wie bei den degenerativen Erkrankungen der Lendenwirbelsäule (s. oben) zu beobachten [44]. Zudem zeigen degenerativ veränderte Segmente auch im Bereich der Hals-

wirbelsäule pathologische ventrale (*Pseudospondylolisthesis*) oder dorsale Gleitbewegungen (*Retrolisthesis*). Die Segmente neigen zu einer kyphotischen Stellung, sodass benachbarte Segmente zu einer kompensatorischen Hyperlordose „gezwungen“ werden. Dies bleibt nicht ohne Folgen und wird für die Spondylarthrosen in dem betroffenen und in den benachbarten Segmenten verantwortlich gemacht.

Uncovertebralarthrose Die seitlichen Erhebungen der kranialen Deckplatten der HWK 3 bis 7 werden als *Unci corporis* bezeichnet. Sie entwickeln sich erst im Laufe des Wachstums. Ab dem 2. Lebensjahrzehnt kann es zu horizontalen Spaltbildungen in der Bandscheibe kommen, die dann das Uncovertebralgelenk ausmacht. Im konventionellen Röntgenbild sind die knöchernen Veränderungen der *Processi uncinati* erkennbar. Die hiermit einhergehenden Veränderungen des Bandscheibengewebes können ausschließlich durch die MRT dargestellt werden [43]. Klinisch relevant werden die uncovertebralen Veränderungen insbesondere durch die Einengung des Neuroforamens [18]. Hier liegt die Stärke der sagittalen und transversalen Darstellung der MRT. Sowohl die degenerativ bedingte Einengung der Neuroforamina mit klinisch relevanter Radikulopathie als auch die zervikale Spinalkanalstenose mit Myelopathie können dargestellt und topographisch zugeordnet werden [49].

Degenerative Thorakalsyndrome

Klinisch relevante degenerative Veränderungen der Brustwirbelsäule sind selten. Im Allgemeinen wird hierfür die besondere anatomische Situation mit der stabilisierenden Rippen-Sternum-Verbindung angeführt. Röntgenologisch können neben Osteochondrosen und Spondylarthrosen auch degenerative Veränderungen der Kostotransversal- und Kostovertebralgelenke beobachtet werden. CT und MRT sind für die Diagnostik des seltenen, aber klinisch problematischen thorakalen Bandscheibenvorfalls von besonderer Bedeutung [59].

■ Indikation und Kontraindikationen

Indikation

Nicht jeder Rückenschmerz bedarf einer unmittelbaren radiologischen Diagnostik. Die Anamnese und sorgfältige klinische Untersuchung unter Berücksichtigung neurologischer Aspekte geht jeder bildgebenden Diagnostik voraus. Erst nach Erstellen der Arbeitshypothese ist eine konventionelle Röntgendiagnostik sinnvoll. In Anlehnung an die Empfehlungen der „Agency for Health Care Policy and Research“ (AHCPR) wurde auch in Deutschland eine klinische Einteilung von Hals-, Brust- und Lendenwirbelsäulenbeschwerden vorgenommen [2, 32]. Faktoren, die einen potenziell chronifizierenden Verlauf signalisieren, werden unter der Gruppe „yellow-

flag“ subsummiert (Tabelle 13.1). Deuten Anamnese und Befund auf eine schwere Wirbelsäulenerkrankung hin, spricht man von der „Red-flag-Gruppe“ (Tabelle 13.1).

Vor allem die Red-flag-Gruppe erfordert eine rasche konventionelle Bildgebung und ggf. eine weitere unverzügliche Abklärung mit CT/MRT. Wirbelsäulenbeschwerden, die keine Faktoren einer der beiden Gruppen aufweisen, sind nicht zwingend kurzfristig röntgenologisch abzuklären. Zu berücksichtigen ist, dass manualtherapeutische Maßnahmen bei funktionellen Störungen insbesondere an der Halswirbelsäule ohne vorangegangenes Röntgenbild forensisch problematisch sein können [3].

Kontraindikationen

Die Indikation zur konventionellen Röntgendiagnostik und zur CT muss bei Kindern und Jugendlichen besonders streng gestellt werden. Bestehen keine Faktoren, die eine unmittelbare Abklärung erfordern (Yellow-flag- oder Red-flag-Gruppe), ist initial keine Bildgebung indiziert [58]. Dies gilt insbesondere für Patientinnen mit einer bestehenden oder möglichen Schwangerschaft. Obwohl keine ionisierende Strahlung verwendet wird, existieren auch für die MRT einige zu beachtende Kontraindikationen. Insbesondere sind einliegendes Metall im Bereich des Magnetfeldes, Stents, Herzschrittmacher, Tätowierungen usw. prädiagnostisch zu erfragen.

■ Korrelation zwischen bildgebenden und klinischen Befunden und Eignung der Methode zur Verlaufsbeurteilung

Es gehört bis heute zu den besonderen Schwierigkeiten in der Orthopädie, die mittels Bildgebung nachweisbaren Veränderungen an der Wirbelsäule einzuordnen und prognostische bzw. diagnostische Konsequenzen abzuleiten. Zwei Aspekte kennzeichnen die bestehende Problematik:

Zum einen sind strukturelle Veränderungen des Bandscheibengewebes bereits im 2. Lebensjahrzehnt nachweisbar und somit Teil eines physiologischen Prozesses. Die Trennlinie zwischen derartigen Altersveränderungen und einem pathologischen Befund verläuft unscharf. Insbesondere sind aufgrund eines bildgebenden Befundes Aussagen zur weiteren Dynamik des Prozesses nahezu unmöglich.

Der zweite wesentliche Aspekt betrifft die schwierige Korrelation zwischen dem auffälligen Bild und dem klinischen Symptom. Ausgeprägte Rückenschmerzen bei nur moderaten Veränderungen in der Bildgebung und ausgeprägte morphologische Veränderungen ohne jede Symptomatik markieren dabei die jeweiligen Extreme [7, 10, 28].

Tabelle 13.1. Die Dringlichkeit einer weiteren diagnostischen Abklärung bei zervikalen, thorakalen, lumbalen Rückenschmerzen kann anhand von Warnsymptomen („yellow“ oder „red flags“) abgeschätzt werden. Kriterien der Red-flag-Gruppe erfordern eine dringliche radiologische Abklärung

	Unkomplizierter Rückenschmerz	Klinisch „auffälliger“ Rückenschmerz „Yellow flags“	Alarmierende Symptome bei Rückenschmerzen „Red flags“
■ Schmerz	Zervikalsyndrom Thorakalsyndrom Lumbalsyndrom	Zervikozephalisyndrom Zervikobrachialisyndrom Thorakalsyndrom mit ausstrahlenden Schmerzen Lumboischialgie	Zervikaler, thorakaler oder lumbaler Dauerschmerz
■ Auslöser	Bewegung	Bewegungsunabhängig	Bewegungsunabhängig Trauma
■ Anamnese			Tumorerkrankung
■ Neurologie	Keine neurologischen Symptome	Periphere Dysästhesien Leichte Paresen Reflexdifferenzen Schwindel Hör- und Sehstörungen	Zervikale Myelopathie Paralysen Kaudasyndrom Gangstörung
■ Zeitverlauf	Kurz	Länger anhaltend	Entzündungszeichen
■ Begleitsymptome			

Bedeutung von konventionellem Röntgenbild, CT und MRT in der Differenzialdiagnostik des Rückenschmerzes

Eine wesentliche Bedeutung von konventionellem Röntgenbild, CT und MRT liegt in dem differenzialdiagnostischen Ausschluss nichtdegenerativer Veränderungen der Wirbelsäule. Angeborene und erworbene Deformitäten, neoplastische Veränderungen, inflammatorische Prozesse und traumatische Läsionen können mit Röntgenbild und ggf. CT/MRT weitgehend sicher erkannt werden. Allerdings kommen derartige Veränderungen nur bei 0,4–1% der Patienten mit Rückenschmerz vor [58]. Im Umkehrschluss muss davon ausgegangen werden, dass über 99% der Patienten mit Rückenschmerzen, die eine konventionelle Röntgendiagnostik erhalten, einen unauffälligen oder einen degenerativen Röntgen- und MRT-Befund haben, dessen therapeutische Bedeutung aber aufgrund der geringen Korrelation zwischen Bildgebung und Symptomatik nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Bedeutung von konventionellem Röntgenbild, CT und MRT für die Therapie des degenerativen Lumbal- und Zervikalsyndroms

Zwei wesentliche Entwicklungen sind aus den bisherigen Ausführungen abzuleiten. Zum einen haben unterschiedliche Studien zeigen können, dass durch die Einführung von Richtlinien und diagnostischen Algorithmen die Zahl der Röntgenuntersuchungen bei Rückenschmerzen deutlich reduziert werden konnte und es somit zu einer Senkung der Kosten und der Strahlenbelastung kam [16, 23, 29]. Zum anderen wird nach multimodalen Ansätzen gesucht, die eine topographische Eingrenzung der Beschwerden erlauben und dem behandelnden Arzt bei der Indikationsstellung helfen. Hierzu gehören z. B. die Bandscheibenprovokation durch Diskographie oder die Erhebung eines „depressions score“ [6, 56].

Falls sich eine operative Intervention als notwendig erweist, sind konventionelles Röntgen und MRT für die Operationsplanung unverzichtbar. Dabei sind Ausmaß und Rigidität einer Deformität am besten mit der konventionellen Röntgendiagnostik zu erfassen. Segmentzuordnungen bei Stenosen oder bei einem Bandscheibenvorfall sind durch die MRT in hoher Qualität möglich.

Bedeutung von konventionellem Röntgenbild, CT und MRT für die Verlaufsbeurteilung von degenerativen Wirbelsäulenerkrankungen

Generell ist die Verlaufsbeurteilung degenerativer Erkrankungen der Wirbelsäule mit konventionellem Röntgenbild, CT und MRT möglich. Da eine Einteilung bzw. ein Graduierungsschema zur radiologischen Beurteilung der Veränderungen nicht besteht, ist von einem großen interindividuellen Spielraum für die Beurteilung der Ausprägung der Veränderungen auszugehen. Somit spielt für die konventionelle Radiographie, die CT und die MRT

die Beurteilung von evtl. vorhandenen Voraufnahmen eine ausschlaggebende Rolle. Eine Verlaufsbeurteilung allein auf dem Boden von schriftlichen Vorbefunden ist nicht möglich.

■ Dokumentation und Quantifizierung der Befunde

Konventionelle Röntgenbilder müssen mindestens 10 Jahre archiviert werden. Mit der Zunahme der digitalen Radiographie ist auch eine reine digitale Archivierung für den identischen Mindestzeitraum vom Gesetzgeber vorgesehen. Somit können bei Bedarf jederzeit Ausdrücke auf Röntgenfilm oder speziellem Fotopapier angefertigt werden. Gleiches wie für die Archivierung von konventionellen Aufnahmen gilt für die Archivierung der erhobenen computertomographischen und magnetresonanztomographischen Bilder bzw. Daten.

Zur Quantifizierung degenerativer Veränderungen der Wirbelsäule in der Radiologie liegen keinerlei Scoring-Methoden vor. Basierend auf dem zeitlichen Ablauf der fortschreitenden Veränderungen ist die Chondrose als Ausdruck eines früheren Stadiums zu bewerten als beispielsweise die Osteochondrose, bei der es somit bereits zu ossär reaktiven Veränderungen gekommen ist. Häufig wird in der radiologischen Terminologie die nicht-metrische Quantifizierung zwischen leicht-, mittel- und hochgradigen Ausprägungen der einzelnen Merkmale herangezogen.

Auch bei der magnetresonanztomographischen Beurteilung der degenerativen Veränderungen liegt kein objektivierbares metrisches System vor, sodass das Genannte ebenso für die MRT gilt.

■ Zeitbedarf und Kosten

Der Zeitbedarf für die Anfertigung von konventionellen Röntgenbildern eines Abschnitts der Wirbelsäule ist mit etwa 5 min als realistisch zu betrachten. Durch eine vorliegende Bewegungseinschränkung kann sich der Zeitaufwand jedoch vervielfachen. Die Befunderhebung mit Befunddiktat benötigt je nach Erfahrung des Beurteilers und Komplexität des Befundes zwischen 3 und 10 min. Die Erstellung einer CT dauert in der Regel nur wenige Minuten. Für die MRT eines der 3 Wirbelsäulenabschnitte sind mit Lagerung 20–30 min einzurechnen. Diese Zeit kann sich verlängern, wenn aufgrund des erhobenen Bildmaterials Sequenzen mit zusätzlicher intravenöser Kontrastmittelapplikation nötig werden. Zur Befundung des computertomographischen und magnetresonanztomographischen Bildmaterials sind zwischen 15 und 30 min zu veranschlagen.

Die Kosten bzw. die Vergütung der Röntgenleistungen sind in Tabelle 13.2 zusammengefasst. Die Grundlage ist der seit 1. 1. 2005 gültige EBM 2000+. Dabei ist zu beachten, dass die Berechnung einer MRT nur bei der Durchführung von mindestens 4 Sequenzen möglich ist, wobei das Topogramm

Tabelle 13.2. Vergütung von konventioneller Röntgendiagnostik und MRT in der Wirbelsäulendiagnostik. Grundlage ist der seit 1. 1. 2005 gültige EBM 2000+

Leistungskatalog	Nummer	Untersuchung	Punkte
■ EBM	34230	HWS 1 Eb.	210
	34230	BWS 1 Eb.	210
	34230	LWS 1 Eb.	210
	34221	HWS 2 Eb.	410
	34221	BWS 2 Eb.	410
	34221	LWS 2 Eb.	410
	34411	MRT HWS	3040
	34411	MRT BWS	3040
	34411	MRT LWS	3040
■ GOÄ	5100	HWS 2 Eb.	40,50 €
	5105	BWS 2 Eb.	56,50 €
	5105	LWS 2 Eb.	56,50 €
	5705	MRT HWS	4200
	5705	MRT BWS	4200
	5705	MRT LWS	4200

nicht als eigenständige Sequenz zu verstehen ist. Bei den genannten Punktwerten für die MRT ist obligat eine computergestützte Auswertung abrechnungsfähig.

■ Erforderliche Qualifikation zur Anwendung der Methode

Ausführung und Abrechnung von Röntgenleistungen im Rahmen einer vertragsärztlichen Versorgung sind erst durch die Erteilung einer Genehmigung durch eine kassenärztliche Vereinigung möglich. Berechtigt zur Anwendung von ionisierenden Strahlen sind Ärzte mit einer entsprechenden Fachkunde sowie – nach Indikationsstellung durch einen fachkundigen Arzt – Röntgenassistenten und -assistentinnen. Die genauen Anforderungen sind in der Musterweiterbildungsordnung aus dem Jahre 2003 geregelt.

Für die Berechnungen der MRT ist eine Genehmigung der kassenärztlichen Vereinigung nach der MRT-Vereinbarung gemäß § 135 Abs. 2 SGB V vorauszusetzen.

■ Literatur

1. Ackermann WE, Ahmad M (2000) Lumbar spine pain originating from vertebral osteophytes. *Reg Anesth Pain Med* 25:324
2. Agency for Health Care Policy and Research/AHCPR (1994) Acute low back problems in adults. Clinical practice guideline number 14, AHCPR publication No. 95-0642. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Rockville/MD
3. Aroua A, Decka I, Robert J et al (2003) Chiropractor's use of radiography in Switzerland. *J Manipulative Physiol Ther* 26:9–16
4. Benini A (1997) [Stenosis of the lumbar spinal canal. Pathophysiology, clinical aspects and therapy]. *Orthopäde* 26:503–514
5. Berlemann U, Laubli R, Moore RJ (2002) Degeneration of the atlanto-axial joints: a histological study of 9 cases. *Acta Orthop Scand* 73:130–133
6. Biering-Sorensen F (1983) A prospective study of low back pain in a general population. II. Location, character, aggravating and relieving factors. *Scand J Rehabil Med* 15:81–88
7. Bigos SJ, Battie MC, Spengler DM (1992) A longitudinal, prospective study of industrial back injury reporting. *Clin Orthop Relat Res* 279:21–34
8. Bigos SJ, McKee JE, Holland JP et al (2001) Back pain, the uncomfortable truth – assurance and activity problem. *Schmerz* 15:430–434
9. Borenstein DG, O'Mara JW Jr, Boden SD et al (2001) The value of magnetic resonance imaging of the lumbar spine to predict low-back pain in asymptomatic subjects: a seven-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am* 83:1306–1311
10. Carey TS, Evans AT, Hadler NM et al (1996) Acute severe low back pain. A population-based study of prevalence and care-seeking. *Spine* 21:339–344
11. Cavagna F (2004) Technological advances and clinical trends in MRI. *Eur Radiol* 14 Suppl 7:O1–O2
12. Chung CB, Van de Berg BC, Tavernier T et al (2004) End plate marrow changes in the asymptomatic lumbosacral spine: frequency, distribution and correlation with age and degenerative changes. *Skeletal Radiol* 33:399–404
13. Coste J, Paolaggi JB, Spira A (1991) Reliability of interpretation of plain lumbar spine radiographs in benign, mechanical low-back pain. *Spine* 16:426–428
14. Dai L (1998) The relationship between vertebral body deformity and disc degeneration in lumbar spine of the senile. *Eur Spine J* 7:40–44
15. Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie und Berufsverband der Ärzte für Orthopädie (Hrsg) (2002) Leitlinien der Orthopädie: Bandscheibenbedingte Ischialgie, 2. Aufl. Deutscher Ärzteverlag, Köln
16. De Vos Meiring P, Wells IP (1990) The effect of radiology guidelines for general practitioners in Plymouth. *Clin Radiol* 42:327–329
17. Dorenbeck U, Schreyer AG, Grunwald IQ et al (2004) Degenerative diseases of the lumbar spine. Comparison of the multiecho data image combination sequence with magnetization transfer saturation pulse versus lumbar myelography/postmyelographic computed tomography. *Acta Radiol* 45:866–873
18. Ebraheim NA, Lu J, Biyani A et al (1997) Anatomic considerations for uncovertebral involvement in cervical spondylosis. *Clin Orthop Relat Res* 334:200–206
19. Epstein NE, Epstein JA, Carras R, Hyman RA (1990) Far lateral lumbar disc herniations and associated structural abnormalities. An evaluation in 60 patients of the comparative value of CT, MRI, and myelo-CT in diagnosis and management. *Spine* 15:534–539
20. Fletcher J, Clark MD, Sutton FA et al (1999) The cost of MRI: changes in costs 1989–1996. *Br J Radiol* 72:432–437

21. Ford LT, Gilula LA, Murphy WA, Gado M (1977) Analysis of gas in vacuum lumbar disc. *Am J Roentgenol* 128:1056–1057
22. Fujiwara A, Tamai K, Yamato M et al (1999) The relationship between facet joint osteoarthritis and disc degeneration of the lumbar spine: an MRI study. *Eur Spine J* 8:396–401
23. Graves J (2005) The use of radiological guidelines to achieve a sustained reduction in the number of radiographic examinations of the cervical spine, lumbar spine and knees performed for GPs. *Clin Radiol* 60:914–920
24. Glover GH (2000) MRI: basic principles and future potential. *Comput Aided Surg* 5:132 (abstract)
25. Gupta MC (2003) Degenerative scoliosis. Options for surgical management. *Orthop Clin North Am* 34:269–279
26. Hassett G, Hart DJ, Manek NJ et al (2003) Risk factors for progression of lumbar spine disc degeneration: the Chingford Study. *Arthritis Rheum* 48:3112–3117
27. Herbsthofer B, Eysel P, Eckardt A, Humke T (1996) Diagnosis and therapy of erosive intervertebral osteochondrosis. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 134:465–471
28. Inaoka M, Yamazaki Y, Hosono N et al (2000) Radiographic analysis of lumbar spine for low-back pain in the general population. *Arch Orthop Trauma Surg* 120:380–385
29. Kerry S, Hilton S, Patel S et al (2000) Routine referral for radiography of patients presenting with low back pain: is patients' outcome influenced by GPs' referral for plain radiography? *Health Technol Assess* 4:1–119
30. Kolstad F, Myhr G, Kvistad KA et al (2005) Degeneration and height of cervical discs classified from MRI compared with precise height measurements from radiographs. *Eur J Radiol* 55:415–420
31. Kostova V, Koleva M (2001) Back disorders (low back pain, cervicobrachial and lumbosacral radicular syndromes) and some related risk factors. *J Neurol Sci* 192:17–25
32. Krämer J (1997) Bandscheibenbedingte Erkrankungen, 4. Aufl. Thieme, Stuttgart
33. Krappel FA, Bauer E, Ulrich H (2004) [MRI or CT for the diagnosis of stenosis of the lumbar spinal canal? Results of a retrospective study]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 142:126–127
34. Krings T, Reinges MHT, Erberich S et al (2001) Functional MRI for presurgical planning: problems, artefacts, and solution strategies. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 70:749–760
35. Lefkowitz DM, Quencer RM (1982) Vacuum facet phenomenon: a computed tomographic sign of degenerative spondylolisthesis. *Radiology* 144:562
36. Lotz JC (2004) Animal models of intervertebral disc degeneration: lessons learned. *Spine* 29:2742–2750
37. Lowe A, Hopf C, Eysel P (1996) [Significance of exact lateral roentgen documentation in Meyerding's grading of spondylolistheses]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 134:210–213
38. Martin MD, Boxell CM, Malone DG (2002) Pathophysiology of lumbar disc degeneration: a review of the literature. *Neurosurg Focus* 13:E1
39. Meduri S, De Petri T, Modesto A, Moretti CA (2002) Multislice CT: technical principles and clinical applications. *Radiol Med* 103:143–157
40. Müller P, Kendrick D, Bentley E, Fielding K (2002) Cost-effectiveness of lumbar spine radiography in primary care patients with low back pain. *Spine* 27:2291–2297
41. Modic MT (1999) Degenerative disc disease and back pain. *Magn Reson Imaging Clin N Am* 7:481–491

42. Nizard RS, Wybier M, Laredo JD (2001) Radiologic assessment of lumbar intervertebral instability and degenerative spondylolisthesis. *Radiol Clin North Am* 39:55–71
43. Ostendorf B, Scherer A, Backhaus M et al (2003) Bildgebende Verfahren in der Rheumatologie: Magnetresonanztomographie bei rheumatoider Arthritis. *Z Rheumatol* 62:274–286
44. Pesch HJ, Bischoff W, Becker T, Seibold H (1984) On the pathogenesis of spondylosis deformans and arthrosis uncovertebralis: comparative form-analytical radiological and statistical studies on lumbar and cervical vertebral bodies. *Arch Orthop Trauma Surg* 103:201–211
45. Peterson CK, Bolton JE, Wood AR (2000) A cross-sectional study correlating lumbar spine degeneration with disability and pain. *Spine* 25:218–223
46. Pochis WT, Krasnow AZ, Collier BD (1990) Diagnostic imaging of the lumbar spine. *Ann Intern Med* 112:310–311
47. Pye SR, Reid DM, Smith R et al (2004) Radiographic features of lumbar disc degeneration and self-reported back pain. *J Rheumatol* 31:753–758
48. Rau R, Lingg G, Wassenberg S et al (2005) Bildgebende Verfahren in der Rheumatologie: Konventionelle Röntgendiagnostik bei der rheumatoiden Arthritis. *Z Rheumatol* 64:473–487
49. Roth C, Papanagiotou P, Krick C et al (2005) [Imaging cervical myelo- and radiculopathy]. *Radiologe*
50. Repanti M, Korovessis PG, Stamatakis MV et al (1998) Evolution of disc degeneration in lumbar spine: a comparative histological study between herniated and postmortem retrieved disc specimens. *J Spinal Disord* 11:41–45
51. Salminen JJ, Erkintalo MO, Pentti J et al (1999) Recurrent low back pain and early disc degeneration in the young. *Spine* 24:1316–1321
52. Santiago FR, Milena GL, Herrera RO et al (2001) Morphometry of the lower lumbar vertebrae in patients with and without low back pain. *Eur Spine J* 10:228–233
53. Symmons DP, van Hemert AM, Vandenbroucke JP, Valkenburg HA (1991) A longitudinal study of back pain and radiological changes in the lumbar spines of middle aged women. II. Radiographic findings. *Ann Rheum Dis* 50:162–166
54. Tallroth K (1998) Plain CT of the degenerative lumbar spine. *Eur J Radiol* 27:206–213
55. Tancredi A, Caputi F (2004) Greater occipital neuralgia and arthrosis of C1–2 lateral joint. *Eur J Neurol* 11:573–574
56. Thalgot J, Albert TJ, Vaccaro AR et al (2004) A new classification system for degenerative disc disease of the lumbar spine based on magnetic resonance imaging, provocative discography, plain radiographs and anatomic considerations. *Spine J* 4 (6 Suppl):167S–172S
57. Tribus CB (2003) Degenerative lumbar scoliosis: evaluation and management. *J Am Acad Orthop Surg* 11:174–183
58. Van den Bosch MA, Hollingworth W, Kinmonth AL, Dixon AK (2004) Evidence against the use of lumbar spine radiography for low back pain. *Clin Radiol* 59:69–76
59. Videman T, Battie MC, Gill K et al (1995) Magnetic resonance imaging findings and their relationships in the thoracic and lumbar spine. Insights into the etio-pathogenesis of spinal degeneration. *Spine* 20:928–935
60. Walker MH, Anderson DG (2004) Molecular basis of intervertebral disc degeneration. *Spine J* 4 (6 Suppl):158S–166S