

Wolfram Mittelmeier<sup>1</sup> · Rainer Burgkart<sup>1</sup> · Ludger Gerdesmeyer<sup>1</sup> · Klaus Wörtler<sup>2</sup> · Thomas Link<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie, Technische Universität München

<sup>2</sup>Institut für Radiologische Diagnostik, Technische Universität München

# Richtungsweisende Diagnostik der posttraumatischen Gonarthrose

## Zusammenfassung

Basis der bildgebenden Diagnostik posttraumatischer Veränderungen am Kniegelenk sind die Anamnese sowie die eingehende klinische Untersuchung. Eine nach der Fragestellung ausgerichtete, effiziente, bildgebende Technik geht auch heute meist von der Standardröntgendiagnostik aus. Es empfehlen sich dann unterschiedliche diagnostische Verfahren, wobei heute zur Beurteilung von Weichteilschäden (Bandstrukturen) und Knorpelläsionen das MRT immer mehr in den Vordergrund rückt. Die bewährten Verfahren wie Röntgenaufnahmen und Computertomographie (Gelenkfrakturen) sind aber auch heute für spezielle Fragestellungen unverzichtbar.

## Schlüsselwörter

Kniegelenk · Trauma · Diagnostik · Röntgen · MRT

## Problemstellung

### Ziele

Ziele der richtungsweisenden Diagnostik posttraumatischer Veränderungen am Kniegelenk sind:

- Analyse zwecks exakter Diagnosefindung
- Therapieplanung
- häufig auch gutachterliche Fragestellungen (Zusammenhangsfrage, Dauerschaden)

Dabei ist insbesondere die Beurteilung der Kausalität bei mehreren Traumen in der Anamnese im Fall vorliegender Bild dokumente im Verlauf wesentlich erleichtert.

Die Vielfalt verfügbarer diagnostischer Möglichkeiten verführt zur breiten und teilweise übermäßigen Anwendung von Analyseverfahren. In der täglichen Praxis sollte aber eine zielgerichtete Diagnostik auf der Basis der jeweils notwendigen und sinnvollen Techniken erfolgen.

### Ursachen der Gonarthrose

Verschiedene mögliche Ursachen der Gonarthrose geben Anlass zu einer differenzierten Vorgehensweise in der Auswahl diagnostischer bildgebender Verfahren:

- Knorpelläsion (z. B. Flake)
- Fraktur mit Gelenkbeteiligungen

- Instabilität [15]
- posttraumatische Wachstumsstörung
- posttraumatischer Achsfehler

Im Wesentlichen lassen sich die oben genannten Inhalte auf 3 grundsätzliche Substrate reduzieren:

- Knorpelintegrität?
- Bandstrukturen?
- Knochenstrukturen inklusive Achsfehler

Differenzialdiagnostische Erwägungen wie z. B. der Ausschluss osteolytischer Destruktionen durch Tumoren (pathologische Fraktur) sollten in Betracht gezogen werden, wenn Verdachtsmomente auf der Basis der Nativdiagnostik und der Anamnese (z. B. inadäquates Trauma) entstehen.

## Diagnostische Techniken

Anamnese (Verletzungsmechanismus, Therapie, Verlauf, Operationsberichte) und klinischer Befund (Schwellung, Kre-

© Springer-Verlag 2003

Priv.-Doz. Dr. Wolfram Mittelmeier  
Klinik für Orthopädie und Sportorthopädie,  
Technische Universität München,  
Ismaninger Straße 22, 81675 München,  
E-Mail: wmdienst@lrz.tu-muenchen.de,  
Tel.: 089-41402271, Fax: 089-41407242

W. Mittelmeier · R. Burgkart ·  
L. Gerdsmeyer · K. Wörtler · T. Link

## Essential diagnostic techniques in post-traumatic osteoarthritis of the knee

### Abstract

Diagnostic imaging is performed as indicated by the patient's clinical history and the clinical examination. The imaging technique selected is tailored to the findings, and the standard technique is still conventional radiography. Other diagnostic imaging techniques are often advisable in addition: for example, magnetic resonance imaging is of increasing importance for the assessment of lesions of the soft tissues (such as ligaments) and of cartilaginous pathology. However, in specific situations computed tomography (e.g. in the case of joint fractures) and conventional long-axis radiographs are indispensable even today.

### Keywords

Knee joint · Trauma · X-ray · MRI · CT scan

pitiation, Meniskus- oder Instabilitätszeichen) bilden die Basis einer diagnostischen Kaskade.

Neben der Diagnostik mittels bildgebender Verfahren muss teilweise auch bei posttraumatischen Zuständen an mögliche zusätzliche und teilweise vordergründige Ursachen einer Störung der Gelenkintegrität gedacht werden. Dies gilt insbesondere beim Vorliegen einer bekannten Stoffwechselerkrankung bzw. einer Erkrankung des rheumatischen Formenkreises. In diesem Fall darf nicht nur die bildgebende Diagnostik Beachtung finden. Hier können die Serumiagnostik sowie die Untersuchung des Kniegelenkpunktats (Synoviaanalyse) wertvolle Hinweise liefern.

Bei stattgehabten offenen Verletzungen oder Infektionen im Rahmen der offenen Behandlung nach Traumen kann die Aussage von Entzündungsparametern bezüglich der Frage einer chronischen Infektion (Arthritis statt Arthrose?) teilweise unzureichend aussagefähig sein. So kann das C-reaktive Protein, z. B. bei Niereninsuffizienz, erhöht sein und somit falsch-positive Werte vorgeben. Auch und gerade hier ist die diagnostische Punktion des Gelenks bei rezidivierenden Ergüssen anzuraten.

### Veränderungen von Knorpel und Knochen

#### Röntgen

Auch heute noch stellt das Nativröntgen die 1. Stufe der Kaskade dar (Abb. 1). Die a.-p.-Aufnahme und die seitliche Aufnahme in 30° Flexion können bereits wesentliche Hinweise auf verschiedene

posttraumatische Zustände – wie z. B. unikompartmentelle Gonarthrose nach Tibiakopffraktur – geben und die differenzialdiagnostische Abgrenzung z. B. gegenüber Osteonekrosen des medialen Femurkondylus (Morbus Ahlbäck) ermöglichen [1].

Typische, im Nativröntgen erkennbare Veränderungen sind weiterhin z. B. der Ausriss der Eminentia, Osteophyten, Rauber-Zeichen und Wachstumsstörungen nach Verletzung der Epiphysenfuge, zudem eine Osteochondrosis dissecans oder auch freie Gelenkkörper.

Die Tangentialaufnahme der Patella dient bei vorderem Knieschmerz und posttraumatischen Veränderungen des retropatellaren Gleitlagers bereits wesentlich der Beurteilung. Entsprechend sind Defiléeaufnahmen der Patella nur in Ausnahmefällen zur Analyse der Patellaführung bei posttraumatischen Zuständen erforderlich (z. B. Frage eines gelenkerhaltenden Eingriffs bei posttraumatischer retropatellarer Arthrose).

Die Beurteilung knorpeliger Anteile ist im Nativröntgen bekanntlich nur im Fall der Kalkeinlagerung bei Chondrokalzinose oder indirekt möglich.

Teilweise können auch heute noch für spezielle Fragestellungen Spezialaufnahmen wie die so genannte Tunnelaufnahme (Veränderungen nach alter Ruptur des vorderen Kreuzbands) oder gehaltene Aufnahmen (zur Dokumentation einer Seitenbandinstabilität) sinnvoll sein. Für einzelne Fragestellungen wurden verschiedene spezielle Röntgenaufnahmetechniken [24] beschrieben – wie beispielsweise die seitliche Aufnahme in maximaler Flexion zur Detektion freier Gelenkkörper im ventralen Ge-



Abb. 1a–c ▲ Unterschiedliche Ausprägungen der Kniegelenkschädigung erfordern ein differenziertes diagnostisches Vorgehen, a meniskoprive, posttraumatische, unikompartimentelle Gonarthrose im früheren Stadium, b Pangonarthrose, c Begleiterkrankung neurogene Arthropathie

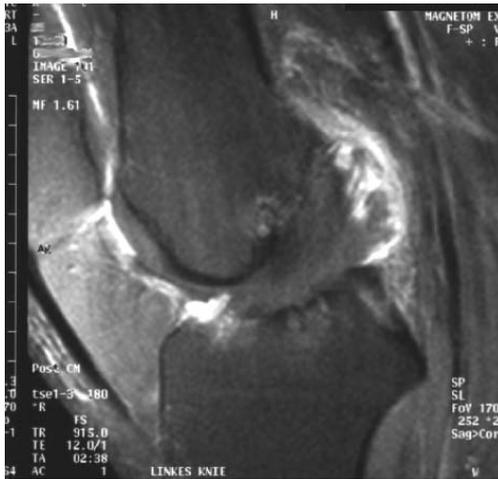


Abb. 2 ◀ **Mukoid Degeneration des vorderen Kreuzbands. Darstellung im MRT mit i. v. appliziertem Kontrastmittel**

lenkraum – auf die jedoch meist bei Verfügbarkeit der Kernspintomographie und zusätzlichen Fragen verzichtet werden kann.

### Kernspintomographie (MRT)

Die Kernspindiagnostik hat in den letzten Jahren durch die Möglichkeit einer gewebespezifischen Weichteildarstellung entscheidend an Bedeutung gewonnen [4, 25]. Insbesondere ist es durch die MRT möglich geworden, auch isolierte Knorpelschäden (wie z. B. Flakes) zu beschreiben, die sonst nur operativarthroskopisch erkennbar waren [9, 18].

Bei der Standard-MRT-Technik werden T1- und T2-gewichtete Sequenzen angewendet, wobei die zusätzliche Untersuchung in T1-Gewichtung mit Kontrastmittel häufig sinnvoll ist.

Verschiedene Möglichkeiten der Kernspindiagnostik bieten sich an:

- Standardnativuntersuchungen
- i.-v.-Kontrastmittel-gestützte Techniken
- Kontrastmittel-MRT-Arthrographie (nur bei speziellen Fragestellungen)
- spezielle Knorpelsequenzen

Die T2-Gewichtung kann z. B. posttraumatische, kontusionsbedingte und somit umschriebene Knochenödeme (bone bruise) aufdecken [21], die einer Röntgennativdiagnostik nicht zugänglich sind. Dies gewinnt Bedeutung bei einem nur wenige Tage zurückliegenden Trauma bei vorbestehender Gonarthrose. Differenzialdiagnostisch sind begleitende, diffuse, gelenknahe Knochenödeme meist beider Gelenkpartner

bei ausgeprägten Gonarthrosen abzugrenzen.

Auch Fissuren oder sehr unscheinbare Frakturlinien sind im MRT sensitiv nachweisbar [16], aber anatomisch im CT besser abgrenzbar.

Einen zunehmenden Stellenwert gewinnt das MRT für die Beurteilung kindlicher gelenknaher Verletzungen [10] und deren Folgen. Dies gilt insbesondere auch für die Beurteilung der Vaskularisierung der Wachstumsfuge [13] sowie der epiphysären Strukturen [14].

Als *Kontrastmittel* dienen heute vorwiegend Gadoliniumchelate [2], die entweder i.-v. gegeben werden (Abb. 2), wobei das Kontrastmittel in das Gelenk diffundiert (indirekte Technik), oder intraartikulär appliziert werden – im Sinn einer MRT-Arthrographie (direkte Technik).

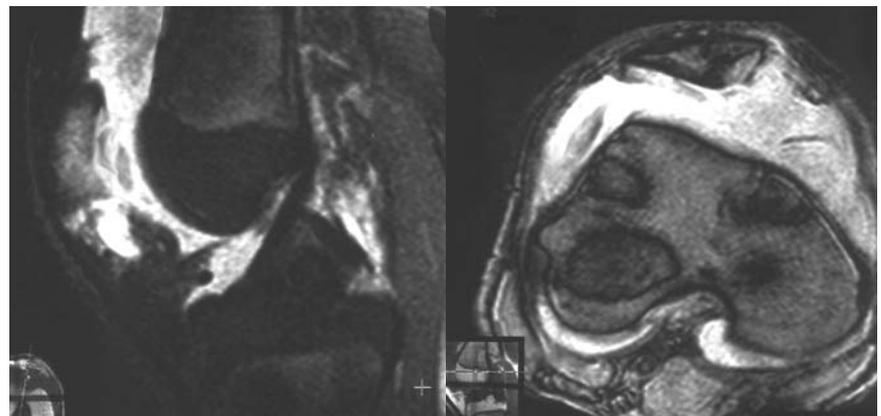


Abb. 3 ▲ **Arthrographieeffekt im MRT (Ausschnitt, sagittale Schnittführung). Durch intraartikulären Erguss werden die einzelnen Knieinnenstrukturen besser differenzierbar, z. B. Einrisse in der Knorpeloberfläche. Hier posttraumatische Arthrose mit wiederholtem Knie trauma (Patellaluxation, Knorpelflake, Hämatom)**

Häufig liegt auch ein gewisser Arthrographieeffekt durch intraartikuläre Flüssigkeit (z. B. Gelenkerguss) vor, welcher in der T2-Gewichtung durch die Darstellung oberflächlicher Knorpeldefekte zum Tragen kommt [19] (Abb. 3). Im Fall der Unterflutung von Knorpelsegmenten durch Flüssigkeit können sich Knorpelflakes, Osteochondrodisseccans-Herde und teilweise Meniskusrisse abgrenzen lassen. Aber in dieser Technik ist der Abbildungscontrast geringer als nach der intraartikulären Injektion von Gadoliniumchelaten in der T1-Sequenz (z. B. 1:250 verdünnt, Magnevist®).

Für Aussagen über Unterbrechungen der Knorpelkontur hinaus sind spezielle „Knorpelsequenzen“ (Abb. 4) entwickelt worden wie

- die 3D-Flash-Sequenz [7] oder
- die 3D-DESS-Darstellung [12, 19, 26].

Diese ermöglichen eine spezifischere und zuverlässigere Aussage bezüglich Knorpeldefekten und teilweise auch Knorpeldegenerationen (DESS) [22].

Problematisch sind beim MRT die *Artefakte*, insbesondere diejenigen nach der Anwendung von Metallimplantaten in der Umgebung der zu untersuchenden Stelle, wobei Stähle (z. B. AISI 317 L/ Osteosynthesestahl) mehr noch als Kobalt-Chrom-Basis-Legierungen (z. B. zementfreie Endoprothesen), aber auch Titanimplantate die Aussage durch Artefakte erschweren.

Auch die Technologie moderner MRT-Geräte lässt heute nur eine einge-



Abb. 4 ◀ Die Darstellung von Knorpel-schäden ist sehr wesentlich von der ver-wendeten MRT-Sequenz abhängig (Beispiel: 2-d-Flash-Sequenz)

## MRT

MRT-Untersuchungen sind in fraglichen Fällen erforderlich. Die jeweiligen Bandstrukturen (z. B. Seitenbänder, ACL, PCL) müssen dabei in der Bildebene dargestellt werden. Während das hintere Kreuzband in der Regel in den sagittalen Standardschnittebenen abgebildet wird, ist für das vordere Kreuzband manchmal die so genannte gekippt koronare Schnittebene hilfreich (Abb. 6).

## Achsfehler

Die Beurteilung von Achsfehlern bedarf einer standardisierten und somit reproduzierbaren Aufnahmetechnik.

## Röntgendiagnostik

Die *Beinlänge* kann über eine Ganzbeinaufnahme mit Maßstab (in gleichem Abstand von der Bildplatte wie der zu vermessende Knochenbereich) im Seitenvergleich bestimmt werden. Liegt

beschränkte Aussage über Knorpel- und Meniskusdegenerationen zu. Die Sensitivität und die Spezifität der Untersuchung von Meniskusläsionen bewegen sich laut verschiedenen Untersuchungen zwischen 70 und 100% [17]. Dabei gibt es insbesondere geräte- und auch untersucherspezifische Unterschiede.

Die Anwendung von Kleingeräten (Niederfeld, z. B. 0,2 T) erlaubt bis heute keine den von Großgeräten (Hochfeldgeräte: ab 1,0 T) gleichwertig sichere Aussage [26].

## CT

Für die detaillierte Bildgebung von Frakturlinien und Fragmenten (z. B. Tibiakopffraktur) ist die CT-Untersuchung im Dünnschichtverfahren durch einen besseren Kontrast knöcherner Anteile dem MRT noch heute überlegen (Abb. 5). Insgesamt hat aber aufgrund der bleibenden Strahlenbelastung das CT für zahlreiche andere Fragestellungen (s. oben) gegenüber dem MRT an Bedeutung verloren.

## Instabilität

### Klinische und Röntgendiagnostik

Auch die posttraumatische Instabilität kann wesentliche Ursache für eine Gonarthrose sein [5]. Für die Fragestellung einer Instabilität bei Rupturen von Bandstrukturen steht die klinische Untersuchung zunächst im Vordergrund. Im Einzelfall strittiger Instabilitäten kann eine gehaltene Aufnahme (z. B.

Valgusstress im a.-p.-Strahlengang) der Dokumentation dienlich sein. Hier kann in der Regel auf spezielle Halteapparate (z. B. zur Darstellung einer vorderen Instabilität), wie sie seit 50 Jahren entwickelt wurden [24], verzichtet werden.

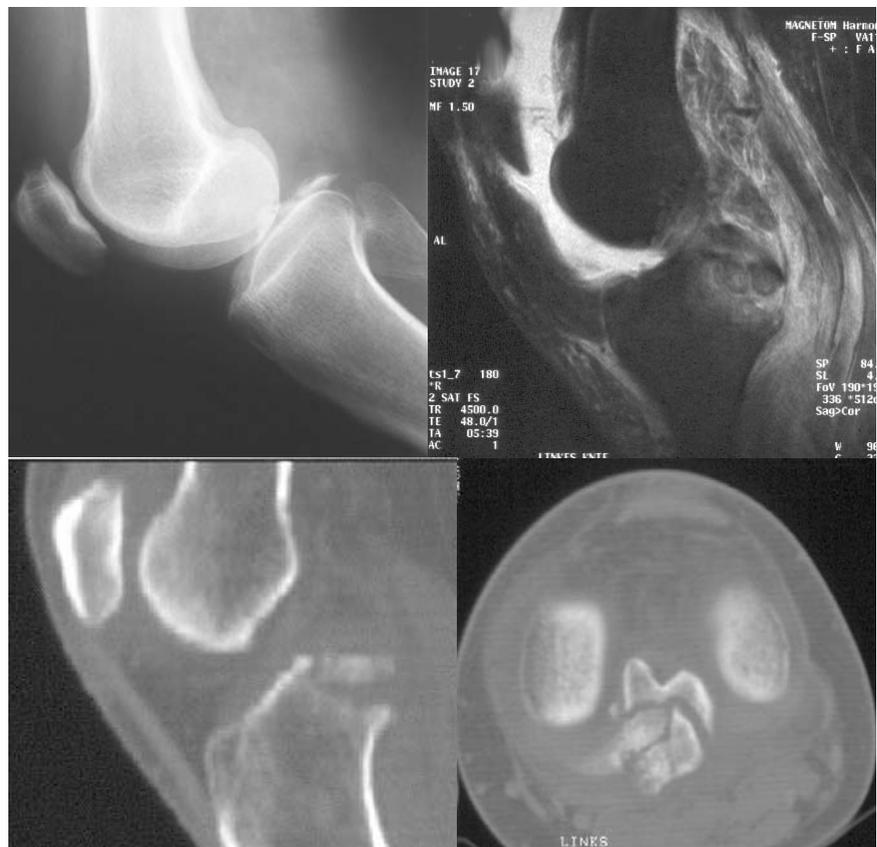


Abb. 5 ▲ Stellenwert des CT zur Beurteilung frischer Tibiakopffrakturen und posttraumatischer Stufenbildung der knöchernen gelenkbildenden Strukturen. Hier knöcherner Ausriss des hinteren Kreuzbands im Vergleich von Röntgen, MRT und CT

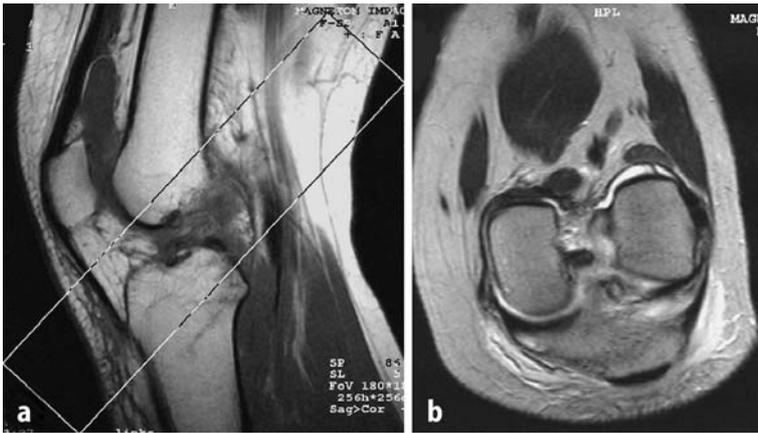


Abb. 6a,b ▲ **Unzureichende Darstellung des vorderen Kreuzbands in der konventionellen sagittalen Schnittführung (a). Zuverlässigere Information in der gekippt koronaren Ebene mit Darstellung der Ruptur des vorderen Kreuzbandes (b)**

aber eine Beugekontraktur vor, muss die Ablichtung von Femur und Tibia separat erfolgen, um eine Fehlmessung durch Verzerrung der Bildebenen zu vermeiden.

Die *Achsabweichung* in der Frontalebene ist über die Ganzbeinaufnahme (Abb. 7) ausreichend zuverlässig zu erfassen, wenn keine größeren Kontrakturen (s. oben) oder Ante- bzw. Retrokurationen von Femur oder Tibia vorliegen.

Als Messparameter können detailliert Gelenkwinkel, Tragachsen von Femur und Tibia sowie die biomechanische Achse des Beins in der Transversalebene, die so genannte Mikulicz-Linie (Hüftkopf – Talusmitte), beschrieben werden.

### Computertomographie

Komplexere Achsdeviationen und v. a. Torsionsfehler sind am besten mittels CT zu erfassen. Indikation ist z. B. die posttraumatische Gonarthrose nach Achsdeviationen aufgrund einer diaphysären Fraktur. Die *CT-Torsionsmessung* muss dabei den Bezug der Ebenen durch die Kondylen und durch den Tibiakopf relativ zu denen von Schenkelhals und Sprunggelenk herstellen (Abb. 8).

### Sonographie

Einzelne Autoren haben die sonographische Messung der Antetorsion vorgeschlagen, indem der Schenkelhalswinkel bei 90° flektierten Kniegelenken

und hängenden Unterschenkeln relativ zur Tischebene gemessen wird. Diese Technik ist jedoch aufgrund ihrer eingeschränkten Reproduzierbarkeit für weiterführende Fragestellungen weniger geeignet [11].

### Weitere diagnostische, Bild gebende Verfahren

#### Sonographie

Die Sonographie verfügt heute in der Diagnostik posttraumatisch veränderter Kniegelenke nur über einen geringen Stellenwert. Sie kann zur Darstellung von Baker-Zysten, nicht aber zur zuverlässigen Kreuzband- oder Meniskusdiagnostik Verwendung finden.

#### Röntgentomogramme

Konventionelle Röntgentomogramme können bei mangelnder Verfügbarkeit des CT in vielen Fällen bei der Frage einer ausreichenden knöchernen Konsolidierung, z. B. nach Tibiakopffraktur, ausreichende Aussagefähigkeit erzielen [8]. Dabei wird jedoch in der Regel nur eine wesentlich geringere Ortsauflösung als bei vergleichbaren CT-Anwendungen, z. B. beim Spiral-CT, erzielt.

#### 3-Phasen-Skelettszintigraphie

Die 3-Phasen-Skelettszintigraphie kann insbesondere in Gegenüberstellung zur Leukozytenszintigraphie [23] zur Beurteilung der Aktivität postinfektiöser Zustände dienen, wie sie bei posttraumati-

schen Osteomyelitiden vorkommen. Gerade bei der Frage der Implantierbarkeit einer Knieendoprothese bei vermeintlich postinfektiös ausgeheiltem, kniegeleknahem Knochenlager kann die Kombination der oben genannten Verfahren hilfreich sein.

### Positronenemissionstomographie

Das Positronenemissionstomogramm PET bietet sich heute vorwiegend differenzialdiagnostisch [6] für spezielle Fragestellungen wie zum Auffinden von metastasierenden Tumoren an. Andererseits wird voraussichtlich in Zukunft eine quantitative Überprüfung der Perfusion von großen rekonstruierten Knochendefekten [20] mit der Frage der Belastbarkeit möglich sein.

### Diskussion

Um eine Abklärung der Behandlungsmöglichkeiten der postoperativen Gonarthrosen durchzuführen, sollten die sinnvollen Techniken angewendet werden, sofern eine möglichst sichere Aussage in einem finanziell vertretbaren



Abb. 7 ◀ **Zur Vermessung der Beinachse in der transversalen Ebene dient die Ganzbeinaufnahme. Hier posttraumatischer Zustand nach Frakturen von Femur und Tibia**

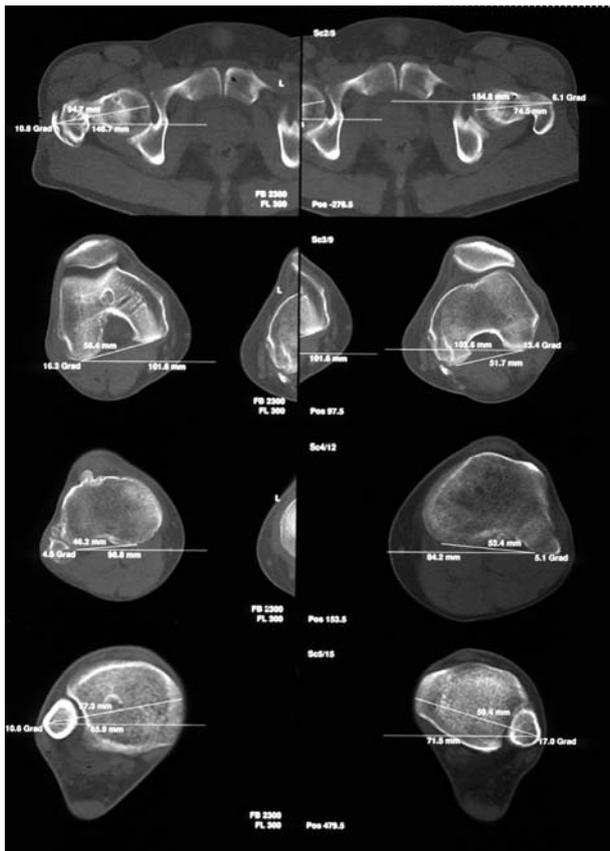


Abb. 8 ◀ **Torsionsmessung mittels CT. Die folgenden Ebenen müssen seitenvergleichend dargestellt und vermessen werden: Schenkelhals, Femurkondylenebenen, Tibiakopf und oberes Sprunggelenk. Entscheidend ist aber die korrekte Wahl der CT-Ebenen und Messlinien**

und für den Patienten akzeptablen Rahmen erreicht werden kann.

Grundlage einer sinnvollen und aussagekräftigen bildgebenden Diagnostik ist die Kenntnis der Aussagefähigkeit der jeweiligen diagnostischen Maßnahme. Diese darf nicht überschätzt werden, denn die verschiedenen diagnostischen Verfahren unterliegen regelmäßig einer je nach Fragestellung und technischen Details eingeschränkten Sensitivität und Spezifität. Dies gilt beispielsweise für die Aussagefähigkeit des MRT bezüglich Knorpelschäden.

In Zukunft sind Verbesserungen der MRT in folgender Hinsicht zu erwarten:

- Reproduzierbarkeit der MRT bezüglich Knorpeldicke
- höhere Ortsauflösung des MRT für spezielle Fragestellungen (Aussagefähigkeit Teilrupturen, Knorpeldegeneration)

Ziel dieser Verbesserungen ist dabei auch die effizientere Verlaufsbearbeitung. Diese bietet bei gewissenhafter Dokumentation von Befunden häufig wertvolle Hinweise (z. B. Bilddokumen-

te unmittelbar nach einem Trauma, Operationsberichte, bildgebende Untersuchungen). Einen Ansatz bezüglich der besser reproduzierbaren Verlaufsbeobachtung im MRT zeigten Burgkart et al. [3] 2001 auf, allerdings sind diese rechnergestützten Analysen bislang noch sehr aufwändig und somit noch nicht als Standard verfügbar.

Ein entscheidendes Ziel in der bildgebenden Diagnostik muss es sein, überflüssige bzw. Mehrfachuntersuchungen zu vermeiden. Die jeweilige Technik sollte auf die Fragestellung optimal ausgerichtet sein und eine spätere, reproduzierbare Verlaufskontrolle möglich machen. Voraussetzung dafür sind aber die vom behandelnden Arzt exakt zu definierende Fragestellung sowie seine gezielte Auswahl der erforderlichen und sinnvollen Untersuchungstechnik. Dafür muss aber seinerseits eine eingehende Kenntnis in Anwendbarkeit und Wertigkeit des jeweiligen Verfahrens bestehen. Angesichts einer ständigen Weiterentwicklung der technischen Möglichkeiten ist die erforderliche, stetige Qualitätsverbesserung der bildgebenden Diagnostik somit nur auf dem Boden einer engen Kooperation

zwischen klinischem Untersucher, welcher die Untersuchungen anordnet, und dem Ausführenden der bildgebenden Technik realisierbar.

Letztlich bleiben auch trotz des zunehmenden Angebots technischer Untersuchungstechniken eine eingehende Anamneseerhebung mit Kenntnis von Vorbefunden sowie die eingehende fachkundige Untersuchung die wesentliche Ausgangsbasis der Diagnostik, gerade an der komplexen anatomischen Struktur des Kniegelenks.

## Fazit für die Praxis

Die richtungsweisende Diagnostik erfordert eine klare Fragestellung und eine daran ausgerichtete, gezielte, bildgebende Diagnostik. Wichtig ist die Vermeidung von Einstellungsfehlern (Röntgen) und Artefakten, insbesondere beim MRT. Die Anwendung des MRT bedarf einer Auswahl der geeigneten Sequenzen, wobei die für die Beurteilung der Knorpelqualität speziellen Geräteeinstellungen zur Verfügung stehen.

## Literatur

1. Barucha E (1960) Unsere Erfahrungen über den Wert des Rauberschen Röntgenzeichens bei der Meniskusdiagnose. Monatsschr Unfallheilkd 63: 370–378
2. Bashir A, Gray ML, Hartke J, Burstein D (1999) Nondestructive imaging of human cartilage glycosaminoglycan concentration by MRI. Magn Reson Med 41: 857–865
3. Burgkart R, Glaser C, Hyhlik-Dürr A, Englmeier K-H, Reiser M, Eckstein F (2001) Magnetic resonance imaging-based assessment of cartilage loss in severe osteoarthritis. Arthritis Rheum 44: 20.722–20.777
4. Burstein D, Bashir A, Gray ML (2000) MRI techniques in early stages of cartilage disease. Invest Radiol 35: 622–638
5. Christensen SB, Reimann I, Henriksen O, Amoldi CC (1982) Experimental osteoarthritis in the rabbit. A study of 133xenon washout rates from the synovial cavity. Acta Orthop Scand 53: 167–174
6. Danfors T, Bergstrom M, Feltelius N, Ahlstrom H, Westerberg G, Langstrom B (1997) Positron emission tomography with 11C-D-deprenyl in patients with rheumatoid arthritis. Evaluation of knee joint inflammation before and after intra-articular glucocorticoid treatment. Scand J Rheumatol 26: 43–48

7. Eckstein F, Sitttek H, Milz S, Putz R, Reiser M (1994) The morphology of articular cartilage assessed by magnetic resonance imaging (MRI). Reproducibility and anatomical correlation. *Surg Radiol Anat* 16: 429–438
8. Elstrom J, Pankovich AM, Sasso H, Rodriguez J (1976) The use of tomography in the assessment of fractures of the tibial plateau. *J Bone Joint Surg Am* 58: 551–555
9. Farkas TA, Reffy A, Frenyo S (1975) Mikroläsionen des Knorpels als mögliche Ursache der posttraumatischen Arthrose. *Arch Orthop Unfallchir* 81: 279–284
10. Futami T, Foster BK, Morris LL, LeQuesne GW (2000) Magnetic resonance imaging of growth plate injuries: the efficacy and indications for surgical procedures. *Arch Orthop Trauma Surg* 120: 390–396
11. Gunther KP, Kessler S, Tomczak R, Pfeifer P, Puhl W (1996) Femorale Antetorsion: Stellenwert klinischer und bildgebender Untersuchungsverfahren bei Kindern und Jugendlichen. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 134: 295–301
12. Hardy PA, Recht MP, Piraino D, Thomasson D (1996) Optimization of a dual echo in the steady state (DESS) free-precession sequence for imaging cartilage. *J Magn Reson Imaging* 6: 329–335
13. Jaramillo D, Hoffer FA, Shapiro F, Rand F (1990) MR imaging of fractures of the growth plate. *AJR Am J Roentgenol* 155: 1261–1265
14. Jaramillo D, Shapiro F, Hoffer FA, Winalski CS, Koskinen MF, Frasso R, Johnson A (1990) Post-traumatic growth-plate abnormalities: MR imaging of bony-bridge formation in rabbits. *Radiology* 175: 767–773
15. Kannus P, Jarvinen M (1988) Osteoarthritis in a knee joint due to chronic posttraumatic insufficiency of the medial collateral ligament. Nine-year follow-up. *Clin Rheumatol* 7: 200–207
16. Kaplan PA, Walker CW, Kilcoyne RF, Brown DE, Tusek D, Dussault RG (1992) Occult fracture patterns of the knee associated with anterior cruciate ligament tears: assessment with MR imaging. *Radiology* 183: 835–838
17. Kreitner KF, Hansen M, Schadmand-Fischer S, Krummenauer F, Runkel M (1999) Niederfeld-MR-Tomographie des Kniegelenkes: Ergebnisse einer prospektiven arthroskopisch kontrollierten Studie. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 170: 35–40
18. Mink JH, Deutsch AL (1989) Occult cartilage and bone injuries of the knee: detection, classification, and assessment with MR imaging. *Radiology* 170: 823–829
19. Mosher TJ, Pruett SW (1999) Magnetic resonance imaging of superficial cartilage lesions: role of contrast in lesion detection. *J Magn Reson Imaging* 10: 178–182
20. Piert M, Zittel TT, Becker GA, Jahn M, Stahlschmidt A, Maier G, Machulla HJ, Bares R (2001) Assessment of porcine bone metabolism by dynamic. *J Nucl Med* 42: 1091–1100
21. Rangger C, Kathrein A, Freund MC, Klestil T, Kreczy A (1998) Bone bruise of the knee: histology and cryosections in 5 cases. *Acta Orthop Scand* 69: 291–294
22. Ruehm S, Zanetti M, Romero J, Hodler J (1998) MRI of patellar articular cartilage: evaluation of an optimized gradient echo sequence (3D-DESS). *J Magn Reson Imaging* 8: 1246–1251
23. Seybold K (1988) Szintigraphische Infektdiagnostik mit mononuklearen Antigranulozyten-Antikörpern. *Nuklearmedizin* 2: 101–108
24. Strobel M, Stedtfeldt H-W, Eichhom W (1995) Diagnostik des Kniegelenkes. Springer, Berlin Heidelberg New York
25. Vellet AD, Marks PH, Fowler PJ, Munro TG (1991) Occult posttraumatic osteochondral lesions of the knee: prevalence, classification, and short-term sequelae evaluated with MR imaging. *Radiology* 178: 271–276
26. Woertler K, Strothmann M, Tombach B, Reimer P (2000) Detection of articular cartilage lesions: experimental evaluation of low- and high-field-strength MR imaging at 0.18 and 1.0 T. *J Magn Reson Imaging* 11: 678–685