

L.V. von Engelhardt^{1,2}, J. Jerosch¹

Bildgebende Diagnostik der Arthrose im klinischen Alltag

Diagnostic imaging of osteoarthritis in clinical practice

Zusammenfassung: Im klinischen Alltag ist die röntgenologische und kernspintomografische Bildgebung ein wesentliches ärztliches Werkzeug. Methodische Stärke der konventionellen Radiologie ist die Darstellung des Knochens, sodass sich die für die Arthrose typischen sekundären Knochenveränderungen besonders gut beurteilen lassen. Neben den Möglichkeiten, den Schweregrad der Arthrose zu erheben, sind insbesondere Belastungsaufnahmen besonders geeignet, um einhergehende höhergradige Knorpelschäden mit einem Verlust der Gelenkspaltweite ausfindig zu machen. In der Literatur finden sich vergleichsweise wenige Arbeiten zur MRT-Diagnostik, die explizit auf die Arthrose bzw. degenerative Knorpelschäden gerichtet sind. Anhand der Literatur ist die MRT eine unterstützende Methode bei der Diagnostik degenerativer Knorpelschäden. Für eine dezidierte Beurteilung von Knorpelschäden und eine entsprechende Therapieplanung kann die MRT den Nutzen einer diagnostischen Arthroskopie derzeit nicht ersetzen.

Schlüsselwörter: Arthrose, Knie, Hüfte, Knorpel, Röntgen, MRT, Arthroskopie

Zitierweise

von Engelhardt LV, Jerosch J. Bildgebende Diagnostik der Arthrose im klinischen Alltag. OUP 2015; 05: 252–257 DOI 10.3238/oup.2015.0252–0257

Summary: In clinical practice radiological and magnetic resonance imaging is an essential medical tool. Methodological strength of conventional x-ray is the imaging of the bone. As a consequence, a reliable assessment of secondary bony change of osteoarthritis is possible. Besides a radiological assessment of the severity of osteoarthritis, weight-bearing radiographs are particularly suitable for detecting high-grade cartilage damage associated with a loss of joint space width. The literature contains only relatively few studies investigating the diagnostic value of MRI which are explicitly focused on the assessment of osteoarthritis or degenerative cartilage diseases. Regarding to the literature, MRI is a supportive method for the diagnostics of degenerative cartilage diseases. However, the value of a diagnostic arthroscopy for a definitive assessment of cartilage damages and for therapeutic planning currently cannot be replaced by MRI.

Keywords: Osteoarthritis, knee, hip, cartilage, MRI, arthroscopy

Citation

von Engelhardt LV, Jerosch J. Diagnostic imaging of osteoarthritis in clinical practice. OUP 2015; 05: 252–257 DOI 10.3238/oup.2015.0252–0257

Einleitung

Im klinischen Alltag ist die Bildgebung gerade bei Arthrosen und Präarthrosen wesentlich, um Diagnosen zu sichern, die Prognose abzuschätzen und weitere Therapiewege planen zu können. Mit diesem Review möchten wir Ihnen einen Überblick zu diesem doch recht komplexen Thema geben.

Konventionelles Röntgen

Methodische Stärke der konventionellen Radiologie ist die Darstellung des

Knochens, sodass sich die für die Arthrose typischen sekundären Knochenveränderungen besonders gut beurteilen lassen. In der Routinediagnostik hat sich daher die Darstellung des betroffenen Gelenks in 2 Ebenen zur Diagnosesicherung bewährt. Es gibt eine Vielzahl an Klassifikationen, um den Schweregrad einer Arthrose nach der Röntgenmorphologie einzuteilen. Die am meisten verwendete Einteilung ist hierbei sicherlich die nach Kellgren und Lawrence [1].

In der Einteilung nach Kellgren und Lawrence (Abb. 1) findet man im Stadium I, der beginnenden Arthrose, umschriebene Verhärtungen, sog. Sklero-

sierungen des Knochens, die zumeist im Pfannenbereich oder an den Tibiaplateaus erkennbar sind. Im Stadium II, der geringen Arthrose, zeigt sich bereits eine allerdings nur geringfügige Gelenkspaltverschmälerung. Zudem lassen sich definitionsgemäß bereits kleine Osteophyten als feine, spitz ausgezogene Knochenanbauten erkennen. Im Stadium III, der mäßigen Arthrose, ist die Gelenkspaltverschmälerung deutlich. Auch finden sich bereits große knöcherne Ausziehungen und Unebenheiten der Gelenkfläche. Im Stadium IV, der schweren Arthrose, zeigt sich eine vollständige Gelenkspaltverschmälerung und eine

¹ Abteilung für Orthopädie, Unfallchirurgie und Sportmedizin, Johanna-Etienne-Krankenhaus, Neuss

² Fakultät für Gesundheit, Private Universität Witten/Herdecke

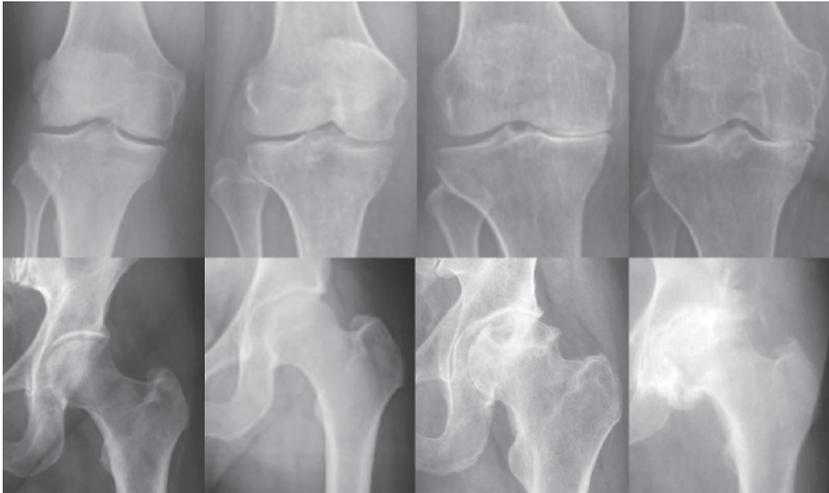


Abbildung 1 Stadieneinteilung der Arthrose nach Kellgren und Lawrence zur radiologischen Beurteilung degenerativer Gelenkschäden. Grad I bis IV sind von links nach rechts dargestellt.

regelrechte Deformierung der Gelenkpartner.

Letztlich geht es in dieser Klassifikation um 3 wesentliche Befunde: die Gelenkspaltweite, die subchondralen Sklerosierungen und die Ausbildung von Osteophyten. Auf diese Befunde möchten wir genauer eingehen und versuchen zu klären, was wir da eigentlich sehen. Die subchondrale Sklerosierung entspricht einer Verdichtung der Knochenbälkchen unter gleichzeitiger Verminderung der filigranen Vernetzung der Knochentextur. Ein solcher Befund gilt als röntgenologischer Hinweis auf eine länger andauernde Überlastung und entspricht damit einer Adaptationsreaktion des Knochens auf die nicht mehr ausreichend gegebene Stoßdämpferfunktion des Knorpels [2]. Neben dieser Pathogenese, die die Sklerose als Folgeerscheinung eines Knorpelschadens sieht, wird in den letzten Jahren auch dem subchondralen Knochen selbst eine Rolle in der Ätiologie und Pathogenese der Arthrose zugeordnet. Ein interessantes Beispiel hierfür sind unterschiedliche Tierversuche an speziellen Meerschweinchenstämmen, die zeigen, dass entsprechende Veränderungen am subchondralen Knochen bereits lange Zeit vor den histologischen Änderungen am Knorpel auftreten. Histologisch finden sich auch hier eine zunehmende Dicke und eine verplumpte Struktur des subchondralen Knochens [3, 4]. Auch zeigt eine Studie von Bruyere et al., dass Arthrosepatienten mit einer in einer

Knochendichtmessung objektivierten, vermehrten subchondralen Sklerosierung im weiteren Verlauf eine signifikant vermehrte Höhenminderung des Gelenkknorpels aufweisen [5]. Entsprechend dieser und einiger weiterer Studien ist zu vermuten, dass der subchondrale Knochen evtl. viel wesentlicher an der Pathogenese der Arthrose beteiligt ist, als weitläufig vermutet.

Eine mögliche Kausalkette wäre bspw. eine überhöhte Steifigkeit des subchondralen Knochens, hierdurch wäre die schockabsorbierende Funktion des Knorpels vermindert oder besser überfordert, und damit wäre der subchondrale Knochen nicht unwesentlich an den degenerativen Knorpelveränderungen beteiligt. Die Ätiopathogenese von Osteophyten ist bis dato unklar. Meist werden osteophytäre Appositionen als Versuch des Organismus verstanden, die Belastungsfläche des Gelenks zu vergrößern. Für diese Aussage gibt es aber keine Evidenz [6, 7].

Ein weiteres typisches Arthrosezeichen ist auch die Verschmälerung des Gelenkspalts als indirektes Zeichen einer Verringerung der Knorpelhöhe. Im deutschen Sprachraum ist die Einbeinstandaufnahme bei gestrecktem Kniegelenk, die sog. Flamingoaufnahme, weit verbreitet. In anderen Ländern (Frankreich, USA, Kanada) wird dagegen vornehmlich eine Belastungsaufnahme bei 45° gebeugtem Kniegelenk als sog. Rosenbergaufnahme oder Schussview durchgeführt.

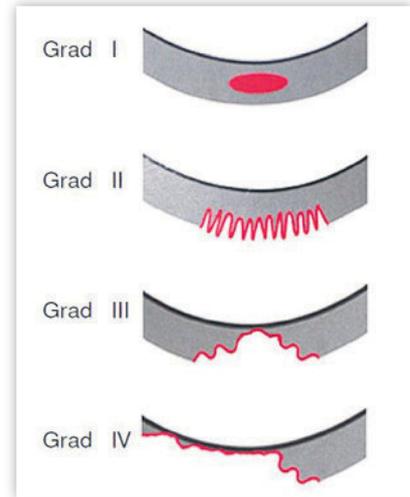


Abbildung 2 Schematische Darstellung des MRT-Gradings des Gelenkknorpels.

Hierbei wird die Röntgenröhre um ca. 10° geneigt, um die Orientierung des Tibiaplateaus zu berücksichtigen und so den Gelenkspalt frei zu projizieren. Die normale Gelenkspaltweite am Kniegelenk beträgt medial etwa 4 und lateral etwa 5 mm. Bei einer Gelenkspaltverschmälerung auf 2 mm oder weniger muss von einem fortgeschrittenen, großflächigen Knorpelschaden in dem betroffenen Kompartiment im Sinne einer beginnenden oder manifesten Arthrose ausgegangen werden. Der Vergleich zwischen der Einbeinstandaufnahme bei gestrecktem Knie und der Belastungsaufnahme in Beugung ergab in der Rosenbergaufnahme eine höhere Empfindlichkeit für das Erkennen von Knorpelschäden [8].

Zusammenfassend lassen sich mit dem Röntgen vor allem die für eine Arthrose typischen sekundären Knochenveränderungen besonders gut beurteilen. Über die Situation am Gelenkknorpel lässt sich nur indirekt etwas aussagen. Gerade hierfür erhofft man sich vom MRT einen großen diagnostischen Nutzen.

Kernspintomografische Diagnostik

In Anbetracht eines vielfältigen und zunehmenden Spektrums unterschiedlicher konservativer und operativer Behandlungsmöglichkeiten von Knorpelschäden sowie evtl. Begleitpathologien

[9] steigen die Anforderungen an eine suffiziente Knorpeldiagnostik. Hinsichtlich klinischer und tierexperimenteller Studien, wonach die frühzeitige operative Sanierung von Knorpelschäden einer verzögerten operativen oder konservativen Therapie überlegen ist, ist die nicht-invasive Knorpeldiagnostik im klinischen Alltag möglicherweise von einer bislang unterschätzten Bedeutung [10–12]. Bei der kernspintomografischen Knorpelbeurteilung brauchen wir daher ein möglichst exaktes Grading der Schäden.

Die bekannteste und am meisten verwendete Methode zur makroskopischen Beurteilung von Gelenkknorpelschäden ist die Klassifikation nach Outerbridge [13]. Daher wird auch bei der MRT-Diagnostik zumeist ein Grading verwendet, das auf der Outerbridge Klassifikation basiert (Abb. 2 und 3) [14–17]. Hierbei zeichnet sich der gesunde Knorpel (Grad 0) in der MRT durch eine homogene intrinsische Signalgebung und eine intakte Oberfläche aus. Eine Grad-I-Läsion ist durch eine fokale Veränderung der Signalintensität bei intakter Knorpeloberfläche definiert und entspricht dem arthroskopischen Befund einer Knorpelerweichung. Eine Grad-II-Läsion stellt sich kernspintomografisch mit einer oberflächigen, weniger als 50 % der Knorpeldicke betreffende Auflockerung, Rissbildung oder Erosion dar. Grad-III-Läsionen stellen sich in der MRT als Defekte mit einer Ausdünnung um mehr als 50 % der Knorpeldicke dar. Sie können mit oder ohne eine umschriebene Ulzeration des Knochens auftreten. Grad-IV-Läsionen zeichnen sich durch einen flächigen, bis auf den Knochen reichenden Knorpeldefekt aus und entsprechen dem arthroskopischen Befund einer Knochenglatze. Eine solche Gradeinteilung von Knorpelschäden ist zur Abschätzung des Schweregrads und zur Planung weiterer Therapiewege von praktischem Nutzen.

In vielen Studien zur kernspintomografischen Knorpeldiagnostik wurde der diagnostische Nutzen der MRT ermittelt, indem verschiedene Grade von Knorpelschäden zu einem positiven (z.B. Grad II bis IV) und einem negativen Befund (z.B. Grad 0 und I) zusammengefasst wurden [14, 18–23]. Diese Vereinfachung entspricht sicherlich nicht den Anforderungen des behandelnden Arztes, der bei der Beurteilung zumeist ein



Abbildung 3 MRT-Grading einer 68 Jahre alten Patientin mit degenerativen Knieschäden (PD gewichtete TSE, 1.5 Tesla). Coronares Bild (links): Die fokale Signalanhebung innerhalb des Knorpels tibial lateral (coronares Bild) ist als Grad-I-Läsion definiert und entspricht einer Knorpelerweichung. Tibial medial zeigt sich ein 4-gradiger Schaden mit freiliegenden Knochen und einer kräftigen subchondralen Sklerosezone. Sagittales MRT (rechts): Tibial lateral zeigt sich hier eine typische 2-gradige Degeneration, bei der die äußere Kontur unruhig und aufgefaserter erscheint. Femoral lateral findet sich eine Grad-3-Läsion mit einer charakteristischen Ausdünnung des Knorpelbelags um mehr als 50 %.

möglichst exaktes Grading der Knorpelschäden benötigt. Viele Studien, die das MRT-Grading mit den intraoperativen Knorpelbefunden korrelieren, benutzen recht unterschiedliche statistische Methoden zur Ergebnisauswertung und zeigen auch nicht minder unterschiedliche Ergebnisse [24–29]. So zeigen Blackburn et al. mit der Berechnung des Korrelationskoeffizienten nach Person eine „moderate“ Korrelation ($r = 0,4$) zwischen dem MRT- und Arthroskopie (ASK) -Grading [25]. Hingegen zeigen 2 weitere Studien unter Verwendung des Spearman-Rank-Tests eine „hochsignifikante“ Korrelation ($P > 0,0003$ und $P > 0,0001$) beim Knorpelgrading [26, 28]. Bei der Ermittlung der Intra- und Inter-Observer-Übereinstimmung rangieren die ermittelten Kappa (κ)-Werte von einer „geringen“ ($\kappa < 0,4$) bis hin zu einer „sehr guten“ ($\kappa > 0,8$) Übereinstimmung [25, 27, 29]. Ähnlich hierzu zeigen klinische Studien und Kadaveruntersuchungen, die sich mit den diagnostischen Werten, also Sensitivitäten, Spezifitäten und Vorhersagewerten beschäftigen, eine große Streuweite. Hierbei rangieren bspw. die Sensitivitäten für höhergradige Schäden zwischen 31 und 100 % [24, 28].

Neben recht unterschiedlichen statistischen Methoden zur Ergebnisauswertung verwendeten die vorangenannten Studien auch sehr unterschiedliche MRT-Techniken. Dies ist hinsichtlich der Literaturempfehlungen, in der unterschiedliche Sequenzprotokolle favorisiert werden, nicht weiter erstaunlich [30, 31–34]. Eine Besonderheit sind die sog. knorpelspezifische Sequenzen, wie z.B. 3D-Spoiled-Gradient-Recalled-Echo (SPGR)-Sequenzen. Diese bieten eine hohe räumliche Auflösung, weshalb sie insbesondere zur Volumenabschätzung im Sinne einer quantitativen Knorpelbeurteilung v.a. im Rahmen von Längsschnittuntersuchungen empfohlen werden. Erhebliche Nachteile dieser Sequenzen sind eine reduzierte Visualisierung der Menisken sowie der knöchernen und ligamentären Strukturen, sodass sie im klinischen Alltag kaum zur Anwendung geeignet sind [35]. Hingegen wurden in den letzten Jahren bei der Diagnostik des Knorpels, aber auch der weiteren Gelenkstrukturen recht überzeugende Ergebnisse mit T2-, intermediär- und Protonendichte (PD)-gewichteten schnellen SE-Sequenzen gesammelt [23, 32, 33, 34, 36, 37].

Eine weitere Perspektive zur Verbesserung der MRT-Bildgebung des Gelenkknorpels könnten höhere Feldstärken bieten. So zeichnet sich die 3T-MRT gegenüber niedrigeren Feldstärken durch eine höhere Signalausbeute aus, weshalb sie als logische und vielversprechende Weiterentwicklung angesehen wird [38]. So wurden in Studien mit gesunden Probanden sowohl für quantitative Parameter wie die Dicken- und Volumenmessung des Gelenkknorpels als auch für qualitative Parameter, wie das Signal-Rausch- und Kontrast-Rausch-Verhältnis, gute Ergebnisse am 3T-MRT nachgewiesen [39, 40]. Vergleichende experimentelle Untersuchungen an einer 1,5- und 3T-MRT an Schaf- und an Schweinekniegelenken zeigten am 3T-MRT bei sämtlichen MRT-Sequenzen höhere Detektionsraten für die Diagnostik iatrogenen Knorpelschäden [41, 42]. Klinische Studien zur 3-Tesla-MRT zeigen für die Diagnostik unterschiedlicher Schweregrade von Knorpelschäden vergleichsweise gute diagnostische Werte mit Sensitivitäten von bis zu 91 % [36, 43–46]. Wong et al. konnten zudem zeigen, dass die 3-Tesla-MRT eine höhere diagnostische Werte aufwies als eine entsprechende Untersuchung bei Feldstärken von 1,5 Tesla [46].

Nachteil dieser teilweise sehr vielversprechenden klinischen Studien am 3-Tesla-Gerät, aber auch der meisten Studien zur 1,5-Tesla-MRT ist, dass sie nicht explizit auf degenerative Knorpelschäden gerichtet sind. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass eigene Untersuchungen zum diagnostischen Nutzen der MRT bei traumatischen Knorpelschäden sehr gute diagnostische Werte zeigen, wohingegen der diagnostische Nutzen bei degenerativen Knorpelschäden doch deutlich eingeschränkt ist [16, 17]. So sind trotz der guten Sensitivitäten am 3T-MRT die positiven Vorhersagewerte z.B. bei der Therapieplanung zu berücksichtigen. Entsprechend eigener Ergebnisse am 3-Tesla-MRT, die explizit auf degenerative Knorpelschäden gerichtet waren, liegt die Wahrscheinlichkeit, dass sich bei einem auffälligen MRT-Befund auch arthroskopisch ein exakt entsprechender Schaden findet, nur zwischen 39 und 72 % [47]. Dies zeigt, dass ein deziertes Grading von Knorpelschäden auch mit der 3T-MRT nicht mit abschließender Sicherheit möglich ist.

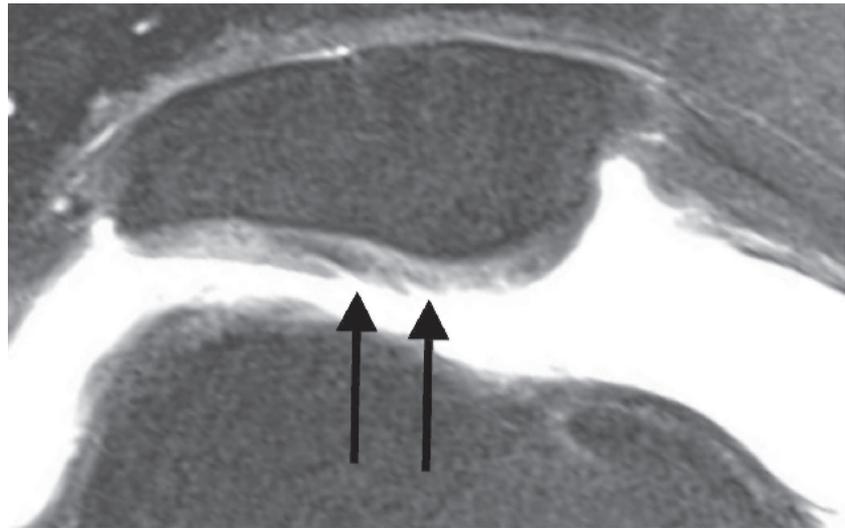


Abbildung 4 Axiales MRT eines 29 Jahre alten Patienten mit typischen traumatischen Knorpelschäden nach Patellaluxation. (PD gewichtete TSE, 1.5 Tesla): Traumatische Knorpelschäden Grad II mit recht grobzottigen, „krebisfleischähnlichen“ Faserungen und Fissuren des Knorpels, die weniger als 50 % der Knorpeldicke ausmachen.

Das die Knorpeldiagnostik für traumatische und degenerative Schäden sehr unterschiedliche Ergebnisse zeigt, ist unseres Erachtens weiter erstaunlich, da sie sowohl intraoperativ, z.B. während einer Arthroskopie, aber natürlich auch in der MRT vollkommen unterschiedlich aussehen. So zeigen 2-gradige traumatische Knorpelschäden in der Arthroskopie eher grobzottige, „krebisfleischähnliche“ Faserungen (Abb. 4), wohingegen die Auffaserungen 2-gradiger degenerativer Knorpelschäden vielmehr feinfaserig und flottierend erscheinen (Abb. 3).

Zusammenfassend bleibt der Nutzen der MRT einschließlich der 3T-MRT für eine dezidierte Knorpelbeurteilung insbesondere bei degenerativen Knorpelschäden eingeschränkt. Somit bleibt der intraoperative Befund entscheidend für die Wahl der Therapie, weshalb eine umfassende präoperative Aufklärung, die unterschiedliche Behandlungsmöglichkeiten abhängig vom intraoperativen Befund aufzeigt, weiterhin angemessen erscheint. Hinsichtlich der Schwierigkeiten einer exakten Beurteilung des Schweregrads degenerativer Knieschäden sind weitere Studien zu diesem Thema sicherlich von Interesse. In diesem Zusammenhang sollte der kaum ersetzbare Nutzen der MRT zur Darstellung weiterer typischer Befunde einer Arthrose wie Knochenmarköde-

men, Osteophyten, Sklerosezonen, Zysten etc. erwähnt werden. So zeigen mehrere Studien, dass Osteophyten und Gelenkergüsse im MRT signifikant mit klinischen Befunden wie Schmerzen und Bewegungseinschränkungen des Kniegelenks assoziiert sind [48–50]. Demnach ist es durchaus von Interesse, entsprechende Befunde bei der Beurteilung des Patienten einzubeziehen. Vielmehr sollten solche Befunde sogar weitaus mehr als üblich, neben der Berücksichtigung des Schweregrads der Knorpelschäden, in die Entscheidungsfindung einbezogen werden. OUP

Interessenkonflikt: Es besteht kein Interessenkonflikt. Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder mit einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen. Die Präsentation des Themas ist unabhängig und die Darstellung der Inhalte produktneutral.

Korrespondenzadresse

PD Dr. med. Lars Victor von Engelhardt
Fakultät für Gesundheit der
Universität Witten/Herdecke
Abteilung für Orthopädie,
Unfallchirurgie und Sportmedizin
Johanna-Etienne-Krankenhaus
Am Hasenberg 46
41462 Neuss
L.vonEngelhardt@ak-neuss.de

Literatur

1. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteo-arthritis. *Ann Rheum Dis.* 1957; 16: 494–502
2. Burr DB. The importance of subchondral bone in the progression of osteoarthritis. *J Rheumatol.* 2004; 31: 77–80
3. Pastoureau PC, Chomel AC, Bonnet J. Evidence of early subchondral bone changes in the menisectomized guinea pig (a densitometric study using dual X-ray absorptiometry subregional analysis). *Osteoarthritis Cart* 1999; 7: 466–473
4. Muraoka T, Hagino H, Okano T et al. Role of subchondral bone in osteoarthritis development: a comparative study of two strains of guinea pigs with and without spontaneously occurring osteoarthritis. *Arthritis Rheum* 2007; 56: 3366–3374
5. Bruyere O, Dardenne C, Lejeune E et al. Subchondral tibial bone mineral density predicts future joint space narrowing at the medial femoro-tibial compartment in patients with knee osteoarthritis. *Bone* 2003; 32: 541–545
6. Zacher J, Gursche A. Diagnostik der Arthrose. *Orthopäde* 2001; 30: 841–847
7. Hackenbroch MH. Arthrosen. Basiswissen zu Klinik, Diagnostik und Therapie. Stuttgart: Thieme Verlag, 2002
8. Rosenberg TD, Paulos LE, Parker RD et al. The forty-five degree posteroanterior flexion weight-bearing radiograph of the knee. *J Bone Joint Surg Am.* 1988; 70A: 1479–1483
9. Falah M, Nierenberg G, Soudry M et al. Treatment of articular cartilage lesions of the knee. *Int Orthop.* 2010; 34: 621–630
10. Bruns J, Steinhagen J: [Lesions of articular cartilage and osteoarthritis – Biological background]. *Dt. Zeitschr f Sportmed.* 2000; 2: 42–47
11. Gaissmaier C, Fritz J, Mollenhauer JA. [Outcome of clinically overt cartilage injuries without and with biological reconstruction]. *Dtsch Ärztebl.* 2003; 100: 2448–2453
12. Saris DB, Dhert WJ, Verbout AJ. Joint homeostasis. The discrepancy between old and fresh defects in cartilage repair. *J Bone Joint Surg Br.* 2003; 85: 1067–1076
13. Outerbridge RE. The etiology of chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1961; 43: 752–757
14. Potter HG, Linklater JM, Allen AA et al. Magnetic resonance imaging of articular cartilage in the knee. An evaluation with use of fast spin-echo imaging. *J Bone Joint Surg Am.* 1998; 80: 1276–1284
15. Suh JS, Lee SH, Jeong EK et al. Magnetic resonance imaging of articular cartilage. *Eur Radiol.* 2001; 11: 2015–2025
16. von Engelhardt LV, Lahner M, Klusmann A. Arthroscopy vs. MRI for a detailed assessment of cartilage disease in osteoarthritis: diagnostic value of MRI in clinical practice. *BMC Musculoskelet Disord.* 2010; 11: 75
17. von Engelhardt LV, Raddatz M, Haage P, Bouillon B, David A, Lichtinger TK. Is MRI reliable for diagnostics chondral and osteochondral lesions in patients with acute lateral patella dislocation? *BMC Musculoskeletal Disord.* 2010; 11: 149
18. Disler DG, McCauley TR, Kelman CG. Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging of hyaline cartilage defects in the knee: comparison with standard MR imaging and arthroscopy. *Am J Roentgenol.* 1996; 167: 127–132
19. Mathieu L, Bouchard A, Marchaland JP. Knee MR-arthrography in assessment of meniscal and chondral lesions. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2009; 95: 40–47
20. Nikolaou VS, Chronopoulos E, Savvidou C. MRI efficacy in diagnosing internal lesions of the knee: a retrospective analysis. *J Trauma Manag Outcomes.* 2008; 2: 4
21. Sonin AH, Pency RA, Mulligan ME, Hatem S. Grading articular cartilage of the knee using fast spin-echo proton density-weighted MR imaging without fat suppression. *Am J Roentgenol.* 2002; 179: 1159–1166
22. Wong S, Steinbach L, Zhao J, Stehling C, Ma CB, Link TM. Comparative study of imaging at 3.0 T versus 1.5 T of the knee. *Skeletal Radiol.* 2009; 38: 761–769
23. Yoshioka H, Stevens K, Hargreaves BA. Magnetic resonance imaging of articular cartilage of the knee: comparison between fat-suppressed three-dimensional SPGR imaging, fat-suppressed FSE imaging, and fat-suppressed three-dimensional DEFT imaging, and correlation with arthroscopy. *J Magn Reson Imaging.* 2004; 20: 857–864
24. Bachmann GF, Basad E, Rauber K, Damian MS, Rau WS. Degenerative joint disease on MRI and physical activity: a clinical study of the knee joint in 320 patients. *Eur Radiol.* 1999; 9: 145–152
25. Blackburn WD Jr, Bernreuter WK, Rominger M, Loose LL. Arthroscopic evaluation of knee articular cartilage: a comparison with plain radiographs and magnetic resonance imaging. *J Rheumatol.* 1994; 21: 675–679
26. Broderick LS, Turner DA, Renfrew DL, Schnitzer TJ, Huff JP, Harris C. Severity of articular cartilage abnormality in patients with osteoarthritis: evaluation with fast spin-echo MR vs arthroscopy. *Am J Roentgenol.* 1994; 162: 99–103
27. Drapé JL, Pessis E, Auleley GR et al. Quantitative MR imaging evaluation of chondropathy in osteoarthritic knees. *Radiology.* 1998; 208: 49–55
28. Kawahara Y, Uetani M, Nakahara N. Fast spin-echo MR of the articular cartilage in the osteoarthrotic knee. Correlation of MR and arthroscopic findings. *Acta Radiol.* 1998; 39: 120–125
29. McNicholas MJ, Brooksbank AJ, Walker CM. Observer agreement analysis of MRI grading of knee osteoarthritis. *R Coll Surg Edinb.* 1999; 44: 31–33
30. Bachmann G, Heinrichs C, Jürgensen I et al. [Comparison of different MRT techniques in the diagnosis of degenerative cartilage diseases. In vitro study of 50 joint specimens of the knee at T1.5]. *Rofo.* 1997; 166: 429–436
31. Friemert B, Oberlander Y, Schwarz W. Diagnosis of chondral lesions of the knee joint: can MRI replace arthroscopy? A prospective study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2004; 12: 58–64
32. Link TM. MR imaging in osteoarthritis: hardware, coils, and sequences. *Radiol Clin North Am.* 2009; 47: 617–632
33. Schaefer FK, Kurz B, Schaefer PJ. Accuracy and precision in the detection of articular cartilage lesions using magnetic resonance imaging at 1.5 Tesla in an in vitro study with orthopedic and histopathologic correlation. *Acta Radiol.* 2007; 48: 1131–1137
34. Quatman CE, Hettrich CM, Schmitt LC et al. The Clinical Utility and Diagnostic Performance of MRI for Identification of Early and Advanced Knee Osteoarthritis: A Systematic Review. *Am J Sports Med.* 2011; 39(7): 1557–1568
35. Roemer FW, Eckstein F, Guermazi A. Magnetic resonance imaging-based semiquantitative and quantitative assessment in osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North Am.* 2009; 35: 521–555
36. Kijowski R, Blankenbaker DG, Woods MA et al. 3.0-T evaluation of knee cartilage by using three-dimensional IDEAL GRASS imaging: comparison with fast spin-echo imaging. *Radiology.* 2010; 255: 117–127
37. Saadat E, Jobke B, Chu B. Diagnostic performance of in vivo 3-T MRI for articular cartilage abnormalities in human osteoarthritic knees using histology as standard of reference. *Eur Radiol.* 2008; 18: 2292–2302
38. Schmitt F, Grosu D, Mohr C et al. [3 Tesla MRI: successful results with higher field strengths]. *Radiologie.* 2004; 44: 31–48
39. Eckstein F, Hudelmaier M, Wirth W et al. Double echo steady state magnetic resonance imaging of knee articular cartilage at 3 Tesla: a pilot study for the Osteoarthritis Initiative. *Ann Rheum Dis.* 2006; 65: 433–441

40. Gold GE, Reeder SB, Yu H. Articular cartilage of the knee: rapid three-dimensional MR imaging at 3.0 T with IDEAL balanced steady-state free precession-initial experience. *Radiology*. 2006; 240: 546–551
41. Masi JN, Sell CA, Phan C et al. Cartilage MR imaging at 3.0 versus that at 1.5 T: preliminary results in a porcine model. *Radiology*. 2005; 236: 140–150
42. Schröder RJ, Fischbach F, Unterhauser FN et al. [Value of various MR sequences using 1.5 and 3.0 Tesla in analyzing cartilaginous defects of the patella in an animal model]. *Rofo*. 2004; 176: 1667–1675
43. Kijowski R, Blankenbaker DG, Davis KW et al. Comparison of 1.5- and 3.0-T MR imaging for evaluating the articular cartilage of the knee joint. *Radiology*. 2009; 250: 839–848
44. Kijowski R, Davis KW, Woods MA et al. Knee joint: Comprehensive assessment with 3D isotropic resolution fast spin-echo MR imaging – Diagnostic performance compared with that of conventional MR imaging at 3.0 T. *Radiology*. 2009; 252: 486–495
45. von Engelhardt LV, Kraft CN, Pennekamp PH et al. The evaluation of articular cartilage lesions of the knee with a 3-Tesla magnet. *Arthroscopy*. 2007; 23(5):496–502
46. Wong S, Steinbach L, Zhao J et al. Comparative study of imaging at 3.0 T versus 1.5 T of the knee. *Skeletal Radiology*. 2009; 38: 761–769
47. von Engelhardt LV, Schmitz A, Burian B. [3-Tesla MRI vs. arthroscopy for diagnostics of degenerative knee cartilage diseases: preliminary clinical results]. *Orthopäde*. 2008; 37: 916–922
48. Boegård T, Rudling O, Petersson IF et al. Correlation between radiographically diagnosed osteophytes and magnetic resonance detected cartilage defects in the tibiofemoral joint. *Ann Rheum Dis*. 1998; 57: 401–407
49. Kornaat PR, Bloem JL, Ceulemans RY. Osteoarthritis of the knee: association between clinical features and MR imaging findings. *Radiology*. 2006; 239: 811–817
50. Link TM, Steinbach LS, Ghosh S. Osteoarthritis: MR imaging findings in different stages of disease and correlation with clinical findings. *Radiology*. 2003; 226: 373–381

ofa bamberg

www.ofa.de

Push care Kniebandage

Offene Konstruktion, einfaches Anlegen

– auch bei eingeschränkter
Beweglichkeit etwa durch
Arthrose.

push®

Die innovative
orthopädische Versorgung

