

L.V. von Engelhardt<sup>1</sup> · A. Schmitz<sup>2</sup> · B. Burian<sup>2</sup> · P.H. Pennekamp<sup>2</sup> · H.H. Schild<sup>3</sup> · C.N. Kraft<sup>4</sup> · M. von Falkenhausen<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Zentrum für Unfallchirurgie und Orthopädische Chirurgie, Helios-Klinikum Wuppertal, Universitätsklinikum der privaten Universität Witten-Herdecke, Wuppertal

<sup>2</sup> Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

<sup>3</sup> Radiologische Klinik, Universitätsklinikum Bonn, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

<sup>4</sup> Klinik für Orthopädie, Unfall- und Handchirurgie, Helios-Klinikum Krefeld

## 3-Tesla-MRT vs. Arthroskopie bei der Diagnostik degenerativer Knorpelschäden des Kniegelenkes

### Erste klinische Ergebnisse

#### Hintergrund und Fragestellung

Während tumoröse, traumatische oder entzündliche Erkrankungen des Kniegelenks magnetresonanztomographisch vergleichsweise sicher nachzuweisen sind, bereitet die Beurteilung degenerativer Knorpelschäden noch immer erhebliche Probleme [30, 37, 38]. Entgegen der klinischen Relevanz sind vergleichende Studien, die sich mit der magnetresonanztomographischen (MRT-)Diagnostik degenerativer Knorpelschäden befassen, selten [2, 4, 5, 6, 9, 21, 38]. Dennoch steigen die Anforderungen an eine suffiziente Knorpeldiagnostik hinsichtlich des zunehmenden Spektrums vollkommen unterschiedlicher konservativer und operativer Behandlungsmöglichkeiten [23]. So werden Injektionen mit Hyaluronsäurepräparaten und Wachstumsfaktoren, pulsierende Stoßwellentherapien, osteochondrale Transfers, Knorpelzelltransplantationen, Mosaikplastiken, Mikrofrakturierungen etc. zunehmend eingesetzt [16, 19, 23]. Natürlich ist eine möglichst zuverlässige und genaue Knorpeldarstellung auch zur Indikationsstellung bzw. Planung etablierter Verfahren, wie diverser Umstellungs-

osteotomien oder uni- bzw. bikondylärer Oberflächenersatzoperationen hilfreich. Zuletzt ist eine nicht-invasive Knorpeldiagnostik auch hinsichtlich präventiver Maßnahmen von Bedeutung. So wurde gezeigt, dass sich das Risiko einer Früharthrose bei positiver Anamnese für einen Knorpelschaden verdreifacht [26]. Tierversuche zeigen, dass Knorpelschäden ab einer kritischen Größe von 5 mm mit einem vermehrten Risiko einer fortschreitenden Arthrose einhergehen [27].

Entgegen diesen vielfältigen und zunehmenden Anforderungen zeigt die klinische Erfahrung, dass Knorpelschäden in der Magnetresonanztomographie (MRT) nicht sicher erkennbar sind. Auch in der Literatur wird der Wert der MRT zur Knorpeldiagnostik kontrovers diskutiert [1, 13, 18, 30, 35]. Beispielsweise zeigen konventionelle Spinechoscenarien für die Detektion hyaliner Knorpelschäden Nachweisraten zwischen 29% und 53% [1, 18]. Sehr unterschiedliche, allerdings deutlich bessere Ergebnisse zeigen Studien mit knorpelsensitiven Sequenzprotokollen [1, 8, 13, 14, 17, 28, 29]. Trotz dieser Fortschritte bleibt der Nutzen der MRT zur Diagnostik hyaliner Knorpel-

schäden limitiert und es wird weiterhin debattiert, welche Sequenzen eine zuverlässige Knorpeldiagnostik ermöglichen [1, 3, 18, 30]. Weitere Verbesserungen der MRT-Bildgebung sind daher von praktischem Interesse.

Das 3-Tesla-MRT zeichnet sich gegenüber niedrigeren Feldstärken durch eine höhere Signalausbeute aus und ist demnach eine logische und viel versprechende Weiterentwicklung [31]. Erste experimentelle Untersuchungen über die Knorpeldiagnostik im 3-Tesla-MRT an Tiermodellen und mit gesunden Probanden zeigen überzeugende Ergebnisse [10, 15, 22, 25, 32, 36]. Erste klinische Untersuchungen am 3-Tesla-MRT im Vergleich zu arthroskopischen Untersuchungsbefunden wurden von Craig et al. [7] präsentiert. Hier fanden sich gute diagnostische Werte für die Detektion von Kreuzband- und Meniskusrisiken. Eine erste eigene klinische Studie zur Knorpeldiagnostik am 3-Tesla-MRT zeigte wiederum vergleichsweise gute diagnostische Werte [35]. Im Gegensatz zu dieser vorangegangenen Arbeit wurden in diese Studie ausschließlich ältere Patienten mit chronischen Knieschmerzen, arthroskopisch gesicherten

Hier steht eine Anzeige.





**Abb. 1** ▲ 3-Tesla-MRT linkes Kniegelenk in koronarer PD-SPAIR-Sequenz: Das laterale Tibiaplateau zeigt eine Grad-I-Läsion als umschriebene Signalveränderungen innerhalb des Gelenkknorpels (Pfeil), die Knorpeloberfläche ist intakt. Arthroskopisch fand sich eine entsprechende Knorpelerweichung auf dem lateralem Tibiaplateau

zweit- oder höhergradigen degenerativen Knorpelschäden und negativer Traumaanamnese einbezogen. Anhand dieses selektierten Kollektivs, das teilweise Patienten aus der vorangegangenen Studie und auch weitere hinzugekommene Patienten umfasst, wurde der Nutzen des 3-Tesla-MRT bei der Beurteilung degenerativer Knorpelschäden untersucht. Hierzu wurden die präoperativen MRT-Untersuchungen an einem 3-Tesla-Scanner mit den Befunden einer nachfolgenden Arthroskopie verglichen.

## Material und Methode

Diese fortlaufende, prospektive Studie erfolgte an der Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie der Universitätsklinik Bonn in Zusammenarbeit mit der Radiologischen Klinik der Universität Bonn. Es wurden ausschließlich Patienten mit chronischen Knieschmerzen, unauffälliger Traumaanamnese und zumindest zweitgradigen Knorpelschäden aus dem Zeitraum Dezember 2004 bis Oktober 2006 einbezogen. Die Studie erfolgte nach den Richtlinien der lokalen Ethikkommission, alle Patienten wurden entsprechend informiert und erklärten schriftlich ihr Einver-

ständnis. Zudem wurden, um Doppeluntersuchungen zu vermeiden, nur solche Patienten einbezogen, bei denen keine extern angefertigten MRT-Bilder vorlagen.

Diese Studie umfasst 32 Patienten (männlich/weiblich=15/17) mit einem Mindestalter von 40 Jahren; das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Arthroskopie lag bei 57 Jahren, die Altersverteilung reichte von 40–76 Jahren. Die durchschnittliche Zeit zwischen der MRT-Untersuchung und der Arthroskopie betrug 4,5 (1–16) Tage. Die MRT-Untersuchung erfolgte in Rückenlage in einem 3-Tesla-System (Intera, Philips Medical Systems, Best, Niederlande) unter Verwendung einer flexiblen Extremitätenspule mit 2 Spulenelementen, die jeweils oberhalb und unterhalb des zu untersuchenden Kniegelenks gelagert wurden. Die verwendeten Gradientensysteme wiesen eine maximale Amplitude von 30 mT/m bei einer Anstiegszeit von 0,2 ms und einer Gradientenanstiegsgeschwindigkeit von 150 mT/m/ms auf. Das Untersuchungsprotokoll umfasste axiale T<sub>2</sub>-gewichtete Gradientenechosequenzen [T<sub>2</sub>-FFE: field of view (FOV): 180 mm, Matrix: 320, Auflösung: 0,56×0,7×2,0 mm, Schichten: 24, Schichtdicke: 2 mm, Repetitionszeit (TR): 781 ms, Echozeit (TE): 11,5 ms, flip angle (FA): 23°, Akquisitionszeit (AT): 5:31 min]; axiale und sagittale protonendichtegewichtete Turbospinechosequenzen mit spektraler Fettsuppression [PD-SPAIR: FOV: 160 mm, Matrix: 400, Auflösung: 0,4×0,45×3,0 mm, Schichten: 24, Schichtdicke: 3 mm, TR: 4000 ms, TE: 35 ms, FA: 90°, AT: 4:06 min]; koronare PD-SPAIR-Sequenzen (FOV: 180 mm, Matrix: 400, Auflösung: 0,45×0,52×3,0 mm, Schichten: 24, Schichtdicke: 3 mm, TR: 3700 ms, TE: 35 ms, FA: 90°, AT: 4:06 min); sowie axiale und sagittale 3D-T<sub>1</sub>-gewichtete Gradientenechosequenzen mit selektiver Wasseranregung (3D-T<sub>1</sub>-FFE ws: FOV: 150 mm, Matrix: 304, Auflösung: 0,49×0,49×1,0 mm, Schichten: 60, Schichtdicke: 1 mm, TR: 11 ms, TE: 4,6 ms, FA: 10°, AT: 4:55 min).

Die Auswertung der MRT-Bilder erfolgte im Konsensus durch einen mit muskuloskelettaler MRT-Bildgebung erfahrenen Facharzt für Radiologie (M.v.F.) und den Autor. Für den Vergleich zwischen den MRT- und arthroskopischen

Befunden wurden die Knorpelflächen des Kniegelenks in 6 topographische Regionen unterteilt: medialer und lateraler Femurkondylus, mediales und laterales Tibiaplateau, retropatellare Gelenkfläche und Patellagleitlager. Somit wurden insgesamt 192 Knorpelflächen unabhängig voneinander untersucht und bezüglich der Signalintensität, Knorpeldicke und Oberflächenkontur beurteilt. Ein allgemein anerkanntes MRT-Grading des Gelenkknorpels existiert bislang nicht. Um die erhobenen Befunde mit dem arthroskopischen Grading vergleichen zu können, wurde eine von Bachmann et al. [3] vorgeschlagene Einteilung verwendet. Diese MRT-Einteilung leitet sich von dem international verwendeten arthroskopischen Grading von Knorpelschäden nach Shahriaree ab [33]. Hierbei zeigt ein in der MRT als Grad 0 klassifizierter Knorpel eine homogene intrinsische Signalgebung und eine intakte Oberfläche.

- Eine Grad-I-Läsion ist ein struktureller Knorpelschaden ohne Defekt, der sich in der MRT als eine fokale Veränderung der Signalintensität und arthroskopisch als eine umschriebene Erweichung darstellt (■ Abb. 1).
- Eine Grad-II-Läsion zeigt eine Erosion bzw. Fibrillation ohne wesentliche Ausdünnung des Knorpelbelages, die sich in der Arthroskopie als Auffaserung bzw. oberflächliche Rissbildung darstellt (■ Abb. 2).
- Ein tiefgehender Knorpeldefekt bzw. eine Ausdünnung des Knorpels mit oder ohne Ulzeration des Knochens ist als drittgradiger Knorpelschaden definiert (■ Abb. 3, 4).
- Eine Grad-IV-Läsion zeichnet sich durch einen flächigen bis auf den Knochen reichenden Knorpeldefekt aus und entspricht dem arthroskopischen Befund einer Knochenglatze (■ Abb. 4, 5).

Die Arthroskopien erfolgten in üblicher Weise über einen anterolateralen und anteromedialen Zugang jeweils durch einen mit arthroskopischen Operationen versierten Facharzt für Orthopädie und Unfallchirurgie. Zum Zeitpunkt der Arthroskopie waren alle angefertigten MRT-Bilder dem Operateur bekannt und einseh-

Orthopäde 2008 · 37:914–922 DOI 10.1007/s00132-008-1313-6  
© Springer Medizin Verlag 2008

L.V. von Engelhardt · A. Schmitz · B. Burian · P.H. Pennekamp · H.H. Schild · C.N. Kraft · M. von Falkenhausen

### 3-Tesla-MRT vs. Arthroskopie bei der Diagnostik degenerativer Knorpelschäden des Kniegelenkes. Erste klinische Ergebnisse

#### Zusammenfassung

**Hintergrund.** In der Literatur finden sich nur wenige Arbeiten, die sich mit der MRT-Diagnostik degenerativer Knorpelschäden befassen. Untersuchungen über die MRT-Diagnostik des Gelenkknorpels bei Feldstärken von 3 Tesla demonstrieren viel versprechende Ergebnisse. Um den Nutzen des 3-Tesla-MRT zur Entscheidungsfindung konservativer oder operativer Behandlungspfade zu evaluieren, ist diese Studie auf Patienten mit degenerativen Knorpelschäden gerichtet.

**Methoden.** Es wurden 32 Patienten mit chronischen Knieschmerzen, einem Alter von  $\geq 40$  Jahren, unauffälliger Traumanamnese und zumindest zweitgradigen degenerativen Knorpelschäden einbezogen. Die im präoperativen 3-Tesla-MRT (axial/koronar/sagittal PD-TSE-SPAIR, axial/sagittal 3D-T1-FFE, axial T2-FFE, Philips Medical Systems, Intera-3.0T™)

festgestellten Knorpelveränderungen wurden klassifiziert (Grad I–IV) und mit den arthroskopischen Befunden verglichen.

**Ergebnisse.** Bei 36% (70/192) der untersuchten Knorpelflächen zeigte sich keine Übereinstimmung zwischen dem MRT- und Arthroscopiegrading. Am häufigsten wurden hierbei zweit- und drittgradige Knorpelschäden miteinander verwechselt. Entsprechend der positiven Vorhersagewerte liegt die Wahrscheinlichkeit, dass sich bei einem auffälligen MRT-Befund auch arthroskopisch ein entsprechender Schaden findet, zwischen 39 und 72%. Hingegen zeigten die Spezifitäten und negativen Vorhersagewerte bei den unterschiedlichen Schädigungsgraden Werte zwischen 85 und 95%.

**Schlussfolgerung.** Hinsichtlich der hohen Spezifitäten und negativen Vorhersagewer-

te ist das 3-Tesla-MRT als Ausschlussmethode sogar geringfügiger Knorpeldegenerationen von Bedeutung. Zusammenfassend ist das 3-Tesla-MRT bei der Diagnostik degenerativer Knorpelschäden eine unterstützende, nicht-invasive Methode zur Entscheidung konservativer oder operativer Behandlungsmöglichkeiten. Dennoch kann das 3-Tesla-MRT den Nutzen einer diagnostischen Arthroskopie für eine dezidierte Beurteilung der Gelenkflächen und eine entsprechende Therapieplanung nicht ersetzen. Dies gilt insbesondere für Therapieansätze, bei denen die Differenzierung zweit- und drittgradiger Knorpelschäden von Interesse ist.

#### Schlüsselwörter

Knie · Arthrose · Knorpel · 3-Tesla-MRT · Arthroskopie

### 3-Tesla MRI vs. arthroscopy for diagnostics of degenerative knee cartilage diseases. Preliminary clinical results

#### Abstract

**Background.** The literature contains only a few studies investigating the magnetic resonance imaging (MRI) diagnostics of degenerative cartilage diseases. Studies on MRI diagnostics of the cartilage using field strengths of 3-Tesla demonstrate promising results. To assess the value of 3-Tesla MRI for decision making regarding conservative or operative treatment possibilities, this study focused on patients with degenerative cartilage diseases.

**Methods.** Thirty-two patients with chronic knee pain, a minimum age of 40 years, a negative history of trauma, and at least grade II degenerative cartilage disease were included. Cartilage abnormalities detected at preoperative 3-Tesla MRI (axial/koronar/sagittal PD-TSE-SPAIR, axial/sagittal 3D-T1-FFE, axial

T2-FFE; Intera 3.0T, Philips Medical Systems) were classified (grades I–IV) and compared with arthroscopic findings.

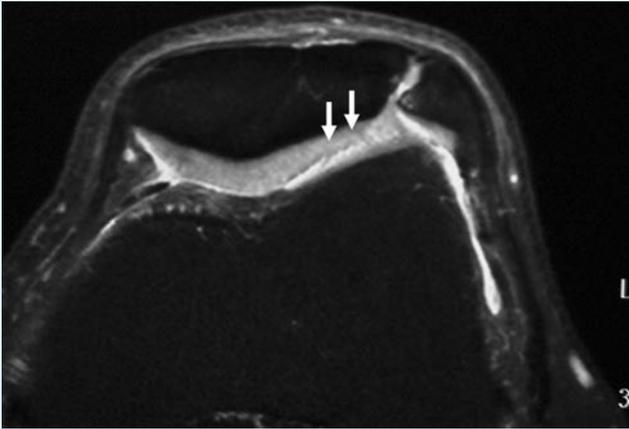
**Results.** Thirty-six percent (70/192) of the examined cartilage surfaces demonstrated no agreement between MRI and arthroscopic grading. In most of these cases, grades II and III cartilage lesions were confounded with each other. Regarding the positive predictive values, the probability that a positive finding in MRI would be exactly confirmed by arthroscopy was 39–72%. In contrast, specificities and negative predictive values of different grades of cartilage diseases were 85–95%.

**Conclusions.** Regarding the high specificities and negative predictive values, 3-Tes-

la MRI is a reliable method for excluding even slight cartilage degeneration. In summary, in degenerative cartilage diseases, 3-Tesla MRI is a supportive, noninvasive method for clinical decision making regarding conservative or operative treatment possibilities. However, the value of diagnostic arthroscopy for a definitive assessment of the articular surfaces and for therapeutic planning currently cannot be replaced by 3-Tesla MRI. This applies especially to treatment options in which a differentiation between grade II and III cartilage lesions is of interest.

#### Keywords

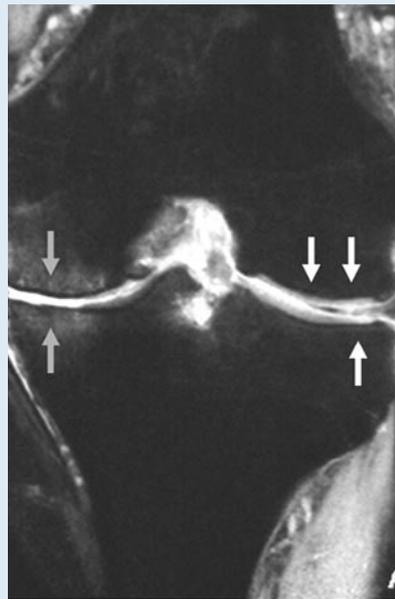
Knee · Arthritis · Cartilage · 3-Tesla MRI · Arthroscopy



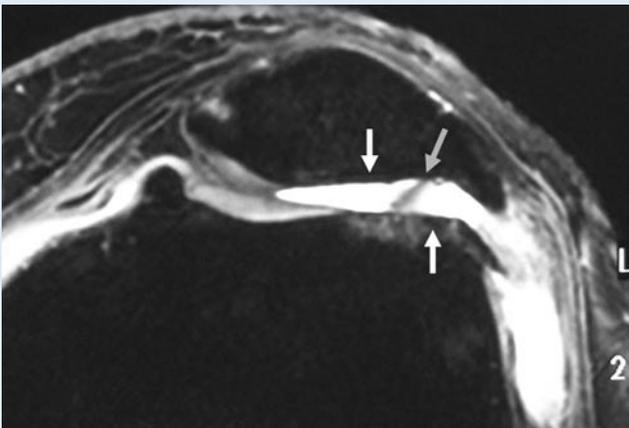
**Abb. 2** ◀ 3-Tesla-MRT linkes Kniegelenk in axialer PD-SPAIR-Sequenz: Eine Grad-II-Läsion mit oberflächiger Auffaserungen des Knorpelbelages ist an der lateralen Patellarückfläche ersichtlich (Pfeile). Auch arthroskopisch fanden sich Auffaserungen des lateralen retropatellaren Gelenkknorpels



**Abb. 3** ▲ Das 3-Tesla-MRT des linken Kniegelenks in sagittaler PD-SPAIR-Sequenz zeigt eine tiefgehende Knorpelläsion, die sogar eine kleine Knochenulzeration (Pfeil) aufweist. Ein solcher Befund ist als drittgradiger Knorpel-schaden definiert



**Abb. 4** ▲ Das 3-Tesla-MRT in koronarer PD-SPAIR-Sequenz zeigt ausgedehnte viertgradige Knorpelschäden mit einer sog. Knorpelglatze im medialen Gelenkkompartment (weiße Pfeile). Im lateralen Kompartment findet sich eine deutliche Ausdünnung des Gelenkknorpels (grauer Pfeil). Ein solcher Befund ist als drittgradige Knorpeldegeneration zu werten



**Abb. 5** ◀ Dieses 3-Tesla-MRT-Bild des linken Kniegelenks in axialer PD-SPAIR-Sequenz zeigt eine Grad-IV-Läsion im Retropatellargelenk als flächigen Knorpelverlust mit Freilegung des Knochens (weiße Pfeile). Zusätzlich ist ein mobiles Knorpelfragment (grauer Pfeil) ersichtlich

bar. Jede der 6 topographischen Knorpelflächen wurde gründlich mit einem Tasthaken untersucht. Im Rahmen der arthroskopischen Beurteilung des Gelenkknorpels erfolgte ein Grading nach der von Shahriaree [33] beschriebenen Klassifikation in die Stadien 0–IV (Tab. 1). Entsprechend den Anforderungen dieser Studie musste sich der Operateur in jeder Region auf ein Stadium festlegen und den Defekt in einem standardisierten Skizzenbogen einzeichnen.

Zunächst wurde das arthroskopische Grading mit dem MRT-Grading verglichen und die Häufigkeit exakt übereinstimmender Befunde erhoben. Diese Auswertung erfolgte sowohl für das gesamte Kniegelenk und als auch für jedes einzelne Gelenkkompartment. In einem 2. Teil der statistischen Auswertung wurden die Sensitivitäten, Spezifitäten und Vorhersagewerte der präoperativen MRT-Untersuchungen jeweils für erst-, zweit-, dritt- und viertgradige Läsionen getrennt berechnet. Für diese Auswertung wurden die arthroskopischen Befunde als Goldstandard herangezogen, wobei der im MRT erhobene Befund dann als falsch beurteilt wurde, wenn die arthroskopische Diagnose bereits um einen Grad abwich.

### Ergebnisse

192 Knorpelflächen wurden im präoperativen 3-Tesla-MRT und in der nachfolgenden Arthroskopie beurteilt. Arthroskopisch waren 52 (27%) Gelenkflächen unauffällig, 34 (18%) wurden als Grad IV, 44 (23%) als Grad III, 43 (22%) als Grad II und 19 (10%) als Grad I dokumentiert. Wie in Abb. 6 dargestellt, waren fortgeschrittene Knorpelschäden (Grad III und IV) meist im medialen und patellofemoralem Gelenkkompartment und nur selten im lateralen Kompartment ersichtlich. Zweitgradige Knorpelschäden zeigten eine annähernd gleichmäßige Verteilung auf das mediale, laterale und patellofemorale Gelenk. Grad-I-Läsionen und unauffällige Knorpelbefunde wurden überwiegend im lateralen Kompartment notiert.

Im 3-Tesla-MRT war der Gelenkknorpel sowohl hinsichtlich der Oberflächenkontur als auch hinsichtlich Veränderungen der intrinsischen Signalintensität beurteilbar. Ein Grading der kernspin-

tomographisch erhobenen Knorpelbefunde und ein Vergleich zu den arthroskopischen Befunden war daher möglich. Bei 122 (64%) der 192 untersuchten Gelenkflächen fand sich eine exakte Übereinstimmung zwischen dem MRT-Grading und dem arthroskopischen Grading. Hierbei wurde im medialen Gelenkcompartment bei 43 (67%) und im patellofemorale Gelenk bei 46 (72%) von jeweils 64 untersuchten Gelenkflächen ein übereinstimmendes Grading dokumentiert. Hingegen zeigte das laterale Gelenkcompartment mit 32 übereinstimmenden Befunden eine vergleichsweise niedrige Übereinstimmungsrate von lediglich 52%.

In dem folgenden Teil der statistischen Auswertung wurden für die einzelnen Stadien degenerativer Knorpelschäden die Sensitivität, Spezifität und die positiven bzw. negativen Vorhersagewerte des 3-Tesla-MRT berechnet (■ **Tab. 2**). Bei insgesamt 19 Fällen mit dem arthroskopischen Befund einer Knorpelerweichung war ein entsprechender MRT-Befund nur in 5 Fällen ersichtlich. Demnach zeigte die MRT für die Detektion von Grad-I-Läsionen eine niedrige Sensitivität von nur 26%. Für die Detektion von zweitgradigen Degenerationen mit oberflächlichen Substanzdefekten fand sich bereits eine relativ hohe Sensitivität von immerhin 63%, zudem ist eine Spezifität von 85% für die Detektion solcher eher geringfügiger morphologischer Veränderungen beachtenswert. Wie in ■ **Tab. 2** ersichtlich, wurden weiter ansteigende diagnostische Werte bei fortgeschrittenen Knorpelschäden (Grad III und IV) nachgewiesen.

Entgegen den erst- und viertgradigen Knorpelläsionen, bei denen sich falsch-positive Befunde nur in 8 bzw. 9 Fällen fanden, wurden falsch-positive Befunde bei zweit- und drittgradigen Knorpelschäden mit 18 bzw. 23 Fällen mit Abstand am häufigsten erhoben. Unter den kernspintomographisch als Grad II falsch-positiv erhobenen Befunden zeigte sich arthroskopisch meist ein drittgradiger Knorpelschaden (10 von 23). Umgekehrt wurde bei den als Grad III falsch-positiv bewerteten MRT-Befunden in der Arthroskopie zumeist ein zweitgradiger Knorpelschaden diagnostiziert (9 von 19). Demnach wurden insbesondere zweit- und

**Tab. 1** Arthroskopische Beurteilung und Einteilung von Knorpelschäden nach Shariaree [33]

Grad	Arthroskopischer Befund
0	Leuchtend weißer Knorpel mit einer fest-elastischen Oberfläche
I	Fokale Knorpelerweichung mit tastbarer schwammähnlicher Konsistenz
II	Ulzeration oberflächiger Schichten mit Auffaserungen, ohne wesentliche Verdünnung des Knorpelbelages
III	Ulzeration mit tiefgehenden Knorpeldefekten bzw. Ausdünnung des Knorpels
IV	Totalverlust des Knorpels, sichtbare Knochenglatze

**Tab. 2** Diagnostische Werte der 3-Tesla-MRT nach Grad der Knorpelläsion

Grad	Sensitivität	Spezifität	Positiver Vorhersagewert	Negativer Vorhersagewert
I	0,26	0,95	0,39	0,92
II	0,63	0,85	0,54	0,89
III	0,64	0,88	0,61	0,89
IV	0,77	0,94	0,72	0,95

drittgradige Knorpelschäden häufig miteinander verwechselt.

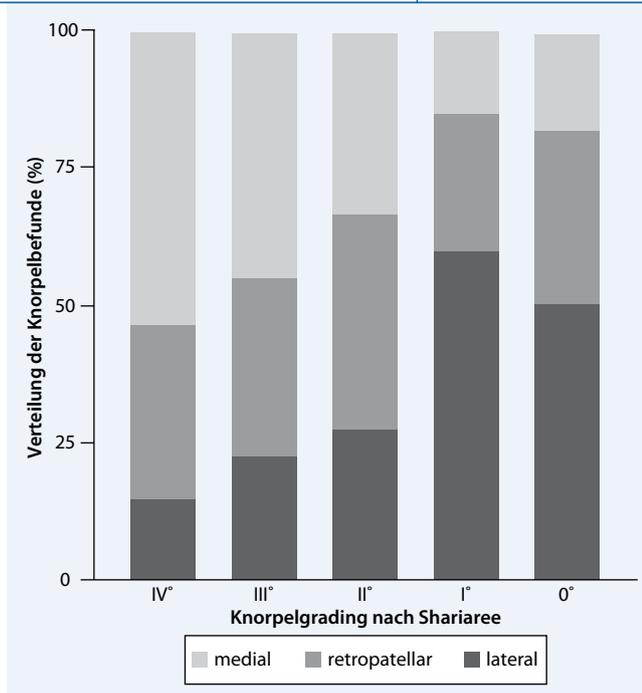
## Diskussion

Erste Versuche über die Knorpeldiagnostik im 3-Tesla-MRT präsentierten Schröder et al. [32] an Schafskadavern. Hier zeigte das 3-Tesla-MRT mit fettsaturierten Gradientenechosequenzen höhere Detektionsraten als das entsprechende 1,5-Tesla-MRT. In einer weiteren Studie an Schweineknien verglichen Masi et al. [25] die Diagnostik iatrogenen Knorpelschäden in einem 3-Tesla-Scanner mit der in einem 1,5-Tesla-Gerät. In dieser Studie wurden mit dem 3-Tesla-MRT bei sämtlichen MRT-Sequenzen höhere Detektionsraten nachgewiesen. Auch eine eigene klinische Studie über die Knorpeldiagnostik am 3-Tesla-MRT zeigte vergleichsweise gute diagnostische Werte [35]. Des Weiteren wurden in Untersuchungen mit gesunden Probanden sowohl für quantitative Parameter wie der Dicken- und Volumenmessung des Gelenkknorpels als auch für qualitative Parameter wie dem Signal-Rausch- und Kontrast-Rausch-Verhältnis gute Ergebnisse am 3-Tesla-MRT nachgewiesen [10, 15, 36].

Zusammenfassend lassen diese Studien vermuten, dass sich die Knorpelbeurteilung unter Verwendung höherer Feldstärken verbessert. In der vorliegenden Studie sollte der diagnostische Nutzen des 3-Tesla-MRT zur Beurteilung degenerativer Knorpelschäden evaluiert werden. Hierfür wurden die Sensitivitäten und Spezi-

fitäten, sowie die positiven bzw. negativen Vorhersagewerte der Knorpeldiagnostik im 3-Tesla-MRT für jeden Grad der Knorpelläsion getrennt berechnet (■ **Tab. 2**). In vorangegangenen Studien wurden für die Detektion fortgeschrittener Knorpelschäden (Grad III und IV) Sensitivitäten von 50–67% [14], 53–63% [17] und 65–100% [13] sowie 83% [28] gezeigt. Die am 3-Tesla-MRT dokumentierten Werte für die Diagnostik von dritt- und viertgradigen Schäden liegen demnach vergleichsweise gut innerhalb dieser Streuweiten. In Studien, in denen auch die Detektion zweitgradiger Veränderungen untersucht wurde, waren solche Läsionen entweder nicht nachweisbar [1], oder es wurden Sensitivitäten zwischen 3 und 38% [3], 14 und 36% [13], sowie zwischen 33 und 67% nachgewiesen [14]. Demnach sind unsere ersten Ergebnisse, die für die Diagnostik zweitgradiger Knorpelschäden eine Sensitivität von 63% und eine Spezifität von 85% demonstrieren, bereits beachtlich.

Weil u. E. die Unterscheidung zweit- und drittgradiger Knorpelschäden bei der Planung einer Therapie, wie z. B. der Indikationstellung einer Umstellung etc. von besonderem Interesse ist, wurden die falsch-positiven Befunde bei zweit- und drittgradigen Knorpelschäden gesondert ausgezählt. Hierbei zeigte sich, dass zweit- und drittgradige Knorpelschäden am häufigsten miteinander verwechselt wurden. In diesem Zusammenhang sind die positiven Vorhersagewerte zu erwähnen (■ **Tab. 2**), die bei sämtlichen Graden vergleichsweise niedrig waren. Dem-



**Abb. 6** ◀ Verteilung der arthroscopisch erhobenen Knorpelbefunde (Grad IV–0) auf das mediale, patellofemorale und laterale Gelenkkompartment

nach liegt die Wahrscheinlichkeit, dass sich bei einem auffälligen MRT-Befund auch arthroscopisch ein exakt entsprechender Schaden findet, nur zwischen 39 und 72%. Dies zeigt, dass ein dezidiertes Grading von Knorpelschäden auch mit dem 3-Tesla-MRT nicht mit abschließender Sicherheit möglich ist. Hingegen waren die Spezifitäten und negative Vorhersagewerte bei jedem Grad von Knorpelschaden hoch. Hiernach ist zu vermuten, dass dem 3-Tesla-MRT ein Stellenwert zum Ausschluss sogar eher geringfügiger Knorpelschäden zugeschrieben werden kann. Somit ist das 3-Tesla-MRT sicherlich eine sinnvolle Unterstützung bei der Diagnostik degenerativer Knorpelschäden.

Dennoch bleibt der Nutzen des 3-Tesla-MRT für eine dezidierte Knorpelbeurteilung und Therapieplanung eingeschränkt. Dies gilt insbesondere hinsichtlich therapeutischer Ansätze, bei denen die Differenzierung zweit- und drittgradiger Schäden von Interesse ist. Im Vergleich zu der vorangegangenen 3-Tesla-MRT-Studie, die unterschiedliche Patienten umfasst und nicht explizit auf ältere Patienten mit degenerativen Knorpelschäden gerichtet ist, finden sich in dieser Studie meist um einige Prozentpunkte niedrigere diagnostische Werte [35]. Dies lässt vermuten, dass die MRT-Beurteilung des

Gelenkknorpels bei Patienten mit degenerativen Knorpelschäden erschwert ist.

Bei der Diagnostik struktureller Knorpelveränderungen (Grad I) zeigt das 3-Tesla-MRT enttäuschende Ergebnisse (Tab. 2). Potter et al. [29] zeigten, dass im 1,5-Tesla-MRT akquirierte Bilder häufig Grad-I-Läsionen zeigen, die in den nachfolgend durchgeführten Arthroscopien nicht bestätigt werden konnten. Basierend auf dieser Tendenz, Grad-I-Läsionen zu „überdiagnostizieren“, wurde vermutet, dass das MRT für die Diagnostik struktureller Knorpelveränderungen eine höhere Sensitivität besitzt als die Arthroscopie. In Anbetracht unserer Ergebnisse lässt sich dies nicht bestätigen. Bei 19 Fällen mit einer Grad-I-Läsion in der Arthroscopie war ein solcher Befund nur in 5 Fällen im präoperativen MRT ersichtlich. Hingegen fanden sich nur 3 Fälle mit einem Normalbefund in der Arthroscopie und einer kernspintomographisch vermuteten Grad-I-Läsion. Auch anhand der vergleichsweise hohen Spezifität für die Diagnostik erstgradiger Läsionen von 95% lässt sich eine Tendenz, solche Knorpelschäden zu „überdiagnostizieren“ in unserer Studie nicht festmachen.

In diesem Zusammenhang sollten Berichte über sog. Trunktionsartefakte erwähnt werden, die zu einer laminären Darstellung des Gelenkknorpels führen und daher Grad-I-Läsionen vortäuschen

können [11, 12, 37]. Frank et al. [12] sowie Erickson et al. [11] zeigten, dass diese Artefakte auftreten, wenn die Knorpeldicke die Bildauflösung um einen bestimmten Faktor überschreitet. Möglicherweise werden die falsch-positiv diagnostizierten Befunde für Grad-I-Läsionen, die in unserer Studie immerhin eher selten auftraten, anhand solcher Artefaktbildungen verständlich.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass die diagnostische Sicherheit des 3-Tesla-MRT mit zunehmender Gradzahl ansteigt, wobei die diagnostischen Werte für die Detektion oberflächlich gelegener Knorpelschäden recht viel versprechend sind. Der Wert des 3-Tesla-MRT zur Beurteilung struktureller Knorpelveränderungen ist weiterhin gering. Bezüglich dieser Ergebnisse ist allerdings anzumerken, dass in diesen ersten klinischen Studien keine parallelen Untersuchungen an einem 1,5-Tesla-Gerät mit dem gleichen Sequenzprotokoll erfolgt sind. Demnach ist ein ggf. bestehender höherer diagnostischer Wert des 3-Tesla-MRT, wie es Masi et al. [25] an Schweinekniegelenken zeigten, mit diesem Studiendesign nicht zu beweisen. Weitere Untersuchungen mit einer parallel durchgeführten 1,5-Tesla-MRT wären demnach wünschenswert.

In einer weiteren Untersuchung wurde die Rate übereinstimmender Befunde zwischen dem Arthroscopie- und MRT-Grading für jedes einzelne Gelenkkompartiment erhoben. Im medialen und patellofemoralem Gelenk fand sich relativ häufig eine exakte Übereinstimmung, deutlich schlechtere Ergebnisse wurden im lateralen Gelenkkompartiment nachgewiesen. Ähnliche Ergebnisse fanden sich in vorangegangenen Studien, in denen ebenfalls eher niedrige Detektionsraten im lateralen Kompartiment und insbesondere am lateralen Tibiaplateau beschrieben wurden [8, 29, 35]. Als mögliche Ursache wurden Probleme bei der MRT-Bildgebung aufgrund der Konvexität des lateralen Tibiaplateaus diskutiert. In Bezug auf unserer Ergebnisse, wonach die diagnostische Sicherheit mit zunehmenden Grad der Knorpelschädigung ansteigt (Tab. 2), sollte hinsichtlich der schlechten Ergebnisse im lateralen Gelenkkompartiment ggf. noch ein weiterer Punkt in Betracht gezogen werden. Entsprechend der im lateralen Ge-

lenkkompartiment meist geringer ausgeprägten Knorpelschäden zeigt das 3-Tesla-MRT hier eine niedrigere Genauigkeit. Beispielsweise waren sich viertgradige Knorpelschäden in unserer Studie nur 4-mal an der lateralen Femurkondyle und in einem Fall am lateralen Tibiaplateau vorhanden. Hingegen fanden sich viertgradige Knorpelschäden in 18 Fällen im medialen Gelenkkompartiment und in 11 Fällen im Retropatellargelenk. Zweitgradige Knorpelschäden waren im dagegen nahezu gleichmäßig auf die 3 Gelenkkompartiments verteilt (■ **Abb. 6**).

Als Limitierung unserer Studie ist die geringe Patientenzahl zu nennen, die wenn auch jeweils sechs Knorpelflächen berücksichtigt wurden, eher gering ist. Weder die arthroskopische Knorpelbeurteilung noch die Befundung der MRT-Bilder erfolgte geblinded, was als eine weitere Limitation der Studie zu werten ist. Zudem erfolgte eine Konsensusauswertung

der MRT-Bilder, so dass eine Berechnung der Interobservervariabilität fehlt. In diesem Kontext ist weiterhin anzumerken, dass auch für die arthroskopische Knorpelbeurteilung einer Interobserverabweichung nachgewiesen wurde [20], so dass die Festlegung eines Goldstandards anhand der intraoperativen Befunde letztlich nur eingeschränkt möglich ist.

### Fazit für die Praxis

**Für fortgeschrittene aber auch für geringfügige Knorpeldegenerationen zeigt das 3-Tesla-MRT vergleichsweise hohe Spezifitäten und negative Vorhersagewerte. Somit ist dem 3-Tesla-MRT ein Stellenwert zum Ausschluss von Knorpelschäden zuzuordnen. In Anbetracht der positiven Vorhersagewerte liegt die Wahrscheinlichkeit, dass sich bei einem pathologischen MRT-Befund auch arthroskopisch ein exakt entsprechender**

**Schaden findet, allerdings nur zwischen 39 und 72%. Demnach kann auch das 3-Tesla-MRT den Nutzen einer Arthroskopie für eine dezidierte Knorpelbeurteilung und Therapieplanung nicht ersetzen.**

**Zusammenfassend ist das 3-Tesla-MRT auch bei degenerativen Knorpelschäden für die Therapieplanung eine sinnvolle Entscheidungshilfe. Dennoch bleibt der intraoperative Befund entscheidend für die Wahl der Therapie. Eine umfassende präoperative Aufklärung, die unterschiedliche Behandlungsmöglichkeiten abhängig vom intraoperativen Befund aufzeigt, bleibt daher angemessen.**

# Hier steht eine Anzeige.

## Korrespondenzadresse

## Dr. Lars Victor Baron von Engelhardt



Zentrum für Unfallchirurgie  
und Orthopädische Chirurgie,  
Helios-Klinikum Wuppertal,  
Universitätsklinikum der privaten  
Universität Witten-Herdecke  
Heusnerstraße 40,  
42117 Wuppertal  
larsvictor@gmx.de

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

- Adam G, Prescher A, Nolte-Ernsting C et al. (1994) MRI of the hyaline knee joint cartilages. Animal and clinical studies. *Rofo* 160: 143–148
- Adams ME, Li DK, McConkey JP et al. (1991) Evaluation of cartilage lesions by magnetic resonance imaging at 0.15 T: comparison with anatomy and concordance with arthroscopy. *J Rheumatol* 18: 1573–1580
- Bachmann G, Heinrichs C, Jürgensen I et al. (1997) 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* 166: 429–436
- Bachmann GF, Basad E, Rauber K et al. (1999) Degenerative joint disease on MRI and physical activity: a clinical study of the knee joint in 320 patients. *Eur Radiol* 9: 145–152
- Blackburn WD Jr, Bernreuter WK, Rominger M, Loose LL (1994) Arthroscopic evaluation of knee articular cartilage: a comparison with plain radiographs and magnetic resonance imaging. *J Rheumatol* 21: 675–679
- Broderick LS, Turner DA, Renfrew DL et al. (1994) Severity of articular cartilage abnormality in patients with osteoarthritis: evaluation with fast spin-echo MR vs arthroscopy. *Am J Roentgenol* 194: 162: 99–103
- Craig JG, Go L, Blechinger J et al. (2005) Three-tesla imaging of the knee: initial experience. *Skeletal Radiol* 34: 453–461
- Disler DG, McCauley TR, Kelman CG et al. (1996) 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* 167: 127–132
- Drapé JL, Pessis E, Auleley GR et al. (1998) Quantitative MR imaging evaluation of chondropathy in osteoarthritic knees. *Radiology* 208: 49–55
- Eckstein F, Hudelmaier M, Wirth W et al. (2006) Double echo steady state magnetic resonance imaging of knee articular cartilage at 3 Tesla: a pilot study for the Osteoarthritis Initiative. *Ann Rheum Dis* 65: 433–441
- Erickson SJ, Waldschmidt JG, Czervionke LF, Prost RW (1996) Hyaline cartilage: truncation artifact as a cause of trilaminar appearance with fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-recalled sequences. *Radiology* 201: 260–264
- Frank LR, Brossmann J, Buxton RB, Resnick D (1997) MR imaging truncation artifacts can create a false laminar appearance in cartilage. *Am J Roentgenol* 168: 547–554
- Friemert B, Oberlander Y, Schwarz W et al. (2004) Diagnosis of chondral lesions of the knee joint: can MRI replace arthroscopy? A prospective study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 12: 58–64
- Gold GE, Fuller SE, Hargreaves BA et al. (2005) Driven equilibrium magnetic resonance imaging of articular cartilage: initial clinical experience. *J Magn Reson Imag* 21: 476–481
- Gold GE, Reeder SB, Yu H et al. (2006) Articular cartilage of the knee: rapid three-dimensional MR imaging at 3.0 T with IDEAL balanced steady-state free precession—initial experience. *Radiology* 240: 546–551
- Gross AE (2003) Cartilage resurfacing: filling defects. *J Arthroplasty* 18: 14–17
- Guckel C, Jundt G, Schnabel K, Gachter A (1995) Spin-echo and 3D gradient-echo imaging of the knee joint: a clinical and histopathological comparison. *Eur J Radiol* 21: 25–33
- Hodler J, Resnick D (1996) Current status of imaging of articular cartilage. *Skeletal Radiol* 25: 703–709
- Hunziker EB (2002) Articular cartilage repair: basic science and clinical progress. A review of the current status and prospects. *Osteoarthritis Cartilage* 10: 432–463
- Jerosch J, Castro WH, Waal Malefijt MC de et al. (1997) Interobserver variation in diagnostic arthroscopy of the knee joint. „How really objective are arthroscopic findings?“ *Unfallchirurg* 100: 782–786
- Kawahara Y, Uetani M, Nakahara N et al. (1998) Fast spin-echo MR of the articular cartilage in the osteoarthrotic knee. Correlation of MR and arthroscopic findings. *Acta Radiol* 39: 120–125
- Link TM, Sell CA, Masi JN et al. (2006) 3.0 vs 1.5 T MRI in the detection of focal cartilage pathology – ROC analysis in an experimental model. *Osteoarthritis Cartilage* 14: 63–70
- Lühring C, Anders S, Bähis H et al. (2004) Gegenwärtige Praxis der Behandlung des Knorpelschadens am Kniegelenk – Ergebnisse einer deutschlandweiten Umfrage an unfallchirurgischen und orthopädischen Kliniken. *Z Orthop* 142: 546–552
- Mankin HJ (1982) The response of articular cartilage to mechanical injury. *J Bone Joint Surg Am* 64: 460–466
- Masi JN, Sell CA, Phan C et al. (2005) Cartilage MR imaging at 3.0 versus that at 1.5 T: preliminary results in a porcine model. *Radiology* 236: 140–150
- Messner K, Maletius W (1996) The long-term prognosis for severe damage to weight-bearing cartilage in the knee: a 14-year clinical and radiographic follow-up in 28 young athletes. *Acta Orthop Scand* 67: 165–168
- Mitchell N, Shepard N (2004) Healing of articular cartilage in intra-articular fractures in rabbits. *Clin Orthop* 423: 3–6
- Murphy BJ (2001) Evaluation of grades 3 and 4 chondromalacia of the knee using T2\*-weighted 3D gradient-echo articular cartilage imaging. *Skeletal Radiol* 30: 305–311
- Potter HG, Linklater JM, Allen AA et al. (1998) Magnetic resonance imaging of articular cartilage of the knee: an evaluation with use of fast spin echo imaging. *J Bone Joint Surg Am* 80: 1276–1284
- Rubenstein JD, Li JG, Majumdar S, Henkelman RM (1997) Image resolution and signal-to-noise ratio requirements for MR imaging of degenerative cartilage. *Am J Roentgenol* 169: 1089–1096
- Schmitt F, Grosu D, Mohr C et al. (2004) 3 Tesla MRI: successful results with higher field strengths. *Radiologie* 44: 31–48
- Schröder RJ, Fischbach F, Unterhauser FN et al. (2004) Value of various MR sequences using 1.5 and 3.0 Tesla in analyzing cartilaginous defects of the patella in an animal model. *Rofo* 176: 1667–1675
- Shahriare H (1985) Chondromalacia. *Contemp Orthop* 11: 27–39
- Spahn G, Wittig R, Kahl E et al. (2008) Evaluation of cartilage defects in the knee: validity of clinical, magnetic-resonance-imaging and radiological findings compared with arthroscopy. *Unfallchirurg* (in press) (epub ahead of print)
- von Engelhardt LV, Kraft CN, Pennekamp PH et al. (2007) The evaluation of articular cartilage lesions of the knee with a 3-Tesla magnet. *Arthroscopy* 23: 496–502
- Weckbach S, Mendlik T, Horger W et al. (2006) Quantitative assessment of patellar cartilage volume and thickness at 3.0 tesla comparing a 3D-fast low angle shot versus a 3D-true fast imaging with steady-state precession sequence for reproducibility. *Invest Radiol* 41: 189–197
- Yoshioka H, Stevens K, Genovese M et al. (2004) Articular cartilage of knee: normal patterns at MR imaging that mimic disease in healthy subjects and patients with osteoarthritis. *Radiology* 231: 31–38
- Yoshioka H, Stevens K, Hargreaves BA et al. (2004) 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 Imag* 20: 857–864