

# Das intraartikuläre Osteoidosteom: MRT-Charakteristik und klinisches Erscheinungsbild vor und nach Radiofrequenzablation im Vergleich zum extraartikulären Osteoidosteom

## Intraarticular Osteoid Osteoma: MRI Characteristics and Clinical Presentation Before and After Radiofrequency Ablation Compared to Extraarticular Osteoid Osteoma

### Autoren

Thomas Germann<sup>1</sup>, Marc-André Weber<sup>2</sup>, Burkhard Lehner<sup>3</sup>, Laurent Kintzele<sup>1</sup>, Iris Burkholder<sup>4</sup>, Hans-Ulrich Kauczor<sup>1</sup>, Christoph Rehnitz<sup>1</sup>

### Institute

- 1 Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Heidelberg, Germany
- 2 Diagnostic and Interventional Radiology, University Hospital Rostock, Germany
- 3 Department of Orthopaedics Emergency Surgery and Paraplegia, University Hospital Heidelberg, Germany
- 4 StaBiL, Statistical and Biometric Solutions, Zweibrücken, Germany

### Key words

osteoid osteoma, intraarticular, radiofrequency (RF) ablation, MRI

eingereicht 03.10.2019

akzeptiert 11.04.2020

online publiziert 08.07.2020

### Bibliografie

Fortschr Röntgenstr 2020; 192: 1190–1199

DOI 10.1055/a-1181-9041

ISSN 1438-9029

© 2020, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

### Korrespondenzadresse

Dr. Thomas Germann

Diagnostische und Interventionelle Radiologie,  
Universitätsklinikum Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 110,  
69120 Heidelberg, Germany  
Tel.: ++ 49/62 21/5 63 46 80  
Thomas.Germann@med.uni-heidelberg.de

### ZUSAMMENFASSUNG

**Ziel** Untersucht wurden MRT-Charakteristik und klinisches Erscheinungsbild von intraartikulären Osteoidosteomen (OO) vor und nach der Behandlung mit Radiofrequenzablation (RFA) im Vergleich zu extraartikulären OO.

**Material und Methoden** In einer retrospektiven Studie wurden n = 21 Patienten mit intraartikulärem OO einer gleichgroßen Kontrollgruppe von n = 21 Patienten mit extraartikulärem OO an vergleichbarer anatomischer Position gegenübergestellt. Alle Patienten erhielten eine CT-gesteuerte RFA sowie eine präinterventionelle MRT. Bei n = 31 Patienten lag eine Verlaufsbildgebung vor. Die MRT-Bilder wurden hinsichtlich morphologischer Merkmale analysiert: Erguss und Synovitis, Knochenödem, Weichteilödem, Periostreaktion sowie T1-/T2-Signal und Kontrastmittel (KM)-Aufnahme des Nidus. Erfasste klinische Parameter waren unter anderem die initiale Verdachtsdiagnose, der Verlauf der Schmerzsymptomatik nach RFA und das Auftreten von Komplikationen.

**Ergebnisse** Der Nidus war bei allen Patienten in der MRT erkennbar. Das Knochenödem wies die höchste Sensitivität sowohl beim intra- als auch beim extraartikulären OO auf (100%). Erguss und Synovitis wurden nur in der Gruppe der intraartikulären OO (n = 21) beobachtet mit einer perfekten Sensitivität und Spezifität (100%) und einem hohen negativen Vorhersagewert (85%). Bei Patienten mit intraartikulärem OO war ein Weichteilödem signifikant häufiger vorhanden (p = 0,0143). Periostreaktion, T1-/T2-Signal und KM-Aufnahme des Nidus zeigten keine signifikanten Unterschiede (p > 0,05). Knochenödem, KM-Aufnahme, Weichteilödem, Periostreaktion, Erguss und Synovitis waren, sofern vorbestehend, immer rückläufig nach RFA. Bei 66,7% der Patienten mit intraartikulärem OO wurde initial eine falsche Verdachtsdiagnose gestellt (extraartikulär: 19%). Alle Patienten waren nach dem Eingriff schmerzfrei. Komplikationen traten nicht auf.

**Schlussfolgerung** Die MRT zeigt den Nidus und damit das OO in allen Fällen unabhängig von der Lokalisation. Die charakteristische MRT-Morphologie des intraartikulären OO umfasst die Synovitis und den Gelenkerguss, die immer vorliegen und mit perfekter Sensitivität/Spezifität von einem extraartikulären OO differenzieren. Sowohl beim intra- als auch beim extraartikulären OO waren die pathologischen MRT-Veränderungen mindestens abnehmend oder vollständig normalisiert und die klinischen Ergebnisse nach RFA waren ausgezeichnet.

### Kernaussagen:

- Die MRT ist hervorragend geeignet, intra- und extraartikuläre OO zu diagnostizieren.
- Gelenkerguss und Synovitis unterscheiden beide Formen mit perfekter Sensitivität und Spezifität.
- Alle MRT-Veränderungen, die eine Aktivität anzeigen, sind nach erfolgreicher RFA rückläufig.
- Die klinischen Ergebnisse nach RFA sind bei beiden Formen exzellent.

### Zitierweise

- Germann T, Weber M, Lehner B et al. Intraarticular Osteoid Osteoma: MRI Characteristics and Clinical Presentation Before and After Radiofrequency Ablation Compared to Extraarticular Osteoid Osteoma. *Fortschr Röntgenstr* 2020; 192: 1190–1199

### ABSTRACT

**Purpose** To determine MRI characteristics and the clinical presentation of intraarticular osteoid osteomas (OO) before and after treatment with CT-guided radiofrequency ablation (RFA) compared with extraarticular osteoid osteomas.

**Materials and Methods** In a retrospective study, n = 21 patients with an intraarticular OO were matched with a control group of n = 21 patients with an extraarticular OO at a comparable anatomical position. All patients underwent CT-guided RFA and preinterventional MRI. In n = 31 cases, follow-up MR imaging was available. MR images were analyzed for morphologic features: effusion and synovitis, bone marrow

edema (BME), soft tissue edema, periosteal reaction as well as T1 / T2 signal and contrast enhancement of the nidus. Recorded clinical parameters included the initial diagnosis, the course of pain symptoms after RFA and the incidence of complications.

**Results** The nidus was detectable in all patients on MRI. BME had the highest sensitivity in both intra- and extraarticular OO (100 %). Effusion and synovitis were only observed in the intraarticular OO group (n = 21) with a perfect sensitivity and specificity (100 %) and a high negative predictive value (85 %). Soft tissue edema was significantly more present in patients with intraarticular OO (p = 0.0143). No significant differences were present regarding periosteal reaction, T1/T2 signal and contrast enhancement of the nidus (p > 0.05). BME, contrast enhancement, soft tissue edema, periosteal reaction, effusion and synovitis, if preexisting, always decreased after RFA. In 66.7 % of patients with intraarticular OO, a false initial diagnosis was made (extraarticular: 19 %). All patients were free of pain after intervention. Complications following the RFA procedure did not occur.

**Conclusion** MRI demonstrates the nidus and thus the OO in all cases regardless of the location. The characteristic MRI morphology of an intraarticular OO includes synovitis and joint effusion, which are always present and differentiate with perfect sensitivity/specificity from an extraarticular OO. In both intra- and extraarticular OOs pathologic MRI changes at least decreased or completely normalized and the clinical results after RFA were excellent.

## Einleitung

Das Osteoidosteom (OO) ist ein häufiger Knochentumor und macht etwa 10 % aller benignen Knochenläsionen sowie 3 % aller primären Knochentumoren aus [1]. Meist tritt es in der zweiten und dritten Lebensdekade in Erscheinung. Männer sind etwas häufiger betroffen als Frauen (3:1) [2]. Es ist überwiegend in den Metaphysen und Diaphysen der langen Röhrenknochen lokalisiert, etwa 13 % der OO befinden sich jedoch intraartikulär [2]. Während hinsichtlich der extraartikulären OO eine große Anzahl an Studien mit großen Fallzahlen existiert, wird über das intraartikuläre OO vorwiegend in Fallberichten veröffentlicht, die Manifestationen am häufigsten im Hüftgelenk [3, 4], im Ellenbogengelenk [5] und im Sprunggelenk dokumentieren [6]. Das klinische und bildmorphologische Erscheinungsbild eines intraartikulären OO ist oftmals untypisch und unterscheidet sich von dem eines extraartikulären OO [7]; die publizierten Fallberichte zeigten meist eine primär fehlerhafte Initialdiagnose. Nicht selten überwiegen dann unspezifische Symptome wie Bewegungseinschränkung, Beugedeformitäten oder Muskelatrophien sowie arthritische Veränderungen [8]. In der CT ist die typische Sklerosierung häufig weniger stark ausgeprägt [9, 10] und die Szintigrafie zeigt möglicherweise nicht die klassischen Merkmale [11], sodass der Nidus nicht immer eindeutig identifiziert werden kann. Dies stellt eine diagnostische Herausforderung dar und kann die korrekte

Diagnose sowie eine damit verbundene Therapie erheblich verzögern. Eine frühzeitige Intervention ist jedoch insbesondere beim intraartikulären OO von großer Bedeutung, um potenzielle Folgeschäden wie Skelettdeformitäten und irreversible Defekte des Gelenkknorpels aufgrund einer chronischen Synovitis zu vermeiden [12]. Mit der Computertomografie (CT)-gesteuerten Radiofrequenzablation (RFA) steht eine effiziente Therapiemöglichkeit zur Verfügung [13]. Die Magnetresonanztomografie (MRT) hat in der Diagnostik des OO inzwischen einen hohen Stellenwert, da sie neben dem Nidus sowie Umgebungsreaktionen wie Knochenmark- und Weichteilödem auch einen Gelenkerguss und eine Synovitis problemlos darstellen kann [14]. Diese Studie untersucht die MR-morphologischen Eigenschaften sowie klinische Merkmale von intraartikulären im Vergleich zu extraartikulären OO sowie deren Auftreten vor und nach RFA.

## Material und Methoden

### Ethischer Grundsatz, Einschluss- und Ausschlusskriterien

Ein positives Ethikvotum zur Durchführung der Studie liegt vor. Alle Patienten gaben vor Durchführung der Untersuchung eine schriftliche Einwilligungserklärung ab, nachdem sie vollständig

über die Art des Verfahrens und mögliche Risiken aufgeklärt worden waren. Die vorliegende Studie wurde gemäß der Erklärung von Helsinki in der aktuellen Form durchgeführt. Alle Patienten mit intraartikulärem OO, bei denen zwischen Januar 2009 und Dezember 2018 eine CT-gesteuerte RFA in unserer Institution durchgeführt wurde und die zuvor eine MRT erhalten hatten, wurden in die Studie eingeschlossen. Als Vergleichsgruppe wurde die gleiche Anzahl an konsekutiven Patienten mit extraartikulärem OO in vergleichbarer anatomischer Lokalisation eingeschlossen, bei denen ebenfalls eine präinterventionelle MRT vorlag. Bei allen Patienten lag zudem ein präinterventioneller CT-Bilddatensatz vor. Die Diagnose eines OO wurde anhand des klinischen Erscheinungsbildes und der bildmorphologischen Kriterien gestellt. Wichtigstes Diagnosekriterium war der Nachweis eines Nidus, der in allen Fällen mittels MRT gelang und in den vorliegenden CT bestätigt werden konnte. Eine histologische Sicherung wurde in Übereinstimmung mit anderen Arbeitsgruppen nicht zur Diagnosestellung herangezogen [15, 16]. Primär nicht betrachtet wurden Patienten mit anderen zugrunde liegenden Tumoren sowie Patienten, bei denen keine RFA erfolgte oder keine präinterventionelle MRT-Bildgebung vorlag.

### Patientenkollektiv

Im Rahmen dieser retrospektiven Fall-Kontroll-Studie wurde im Studienzeitraum in unserer Institution bei  $n = 150$  Patienten eine CT-gesteuerte RFA aufgrund eines OO durchgeführt. Bei  $n = 24$  Patienten handelte es sich um ein intraartikulär gelegenes OO. Ein OO wurde als intraartikulär definiert, wenn sich der Nidus innerhalb der Gelenkkapsel befand. Ausgeschlossen wurden  $n = 3$  Patienten, da keine MRT-Bildgebung vor RFA vorlag. Dadurch ergab sich eine Gruppe von  $n = 21$  Patienten mit intraartikulärem OO, die alle Einschlusskriterien erfüllten. Diese Patienten mit intraartikulärem OO wurden zunächst durch einen Radiologen mit 5 Jahren Erfahrung in muskuloskelettaler Bildgebung nach anatomischer Lokalisation tabellarisch dokumentiert. Um die Vergleichbarkeit zu erhöhen, wurde eine gleich große Vergleichsgruppe ( $n = 21$ ) mit extraartikulären OO rekrutiert, deren anatomische Lokalisation ähnlich bzw. vergleichbar war, z. B. jeweils femorale Lokalisation oder Becken oder Schaft eines Extremitätenknochens. Die Patientenauswahl erfolgte konsekutiv mit dem einzigen Kriterium der anatomischen Vergleichbarkeit unter Einhaltung der sonstigen Einschlusskriterien, insbesondere des Vorliegens einer präinterventionellen MRT. Zunächst wurde die Datenbank in umgekehrter zeitlicher Reihenfolge (angefangen mit dem aktuellsten Datum) durchsucht und der erste Patient mit passenden Kriterien ausgewählt. Weitere gegebenenfalls geeignete Patienten wurden danach nicht berücksichtigt. Insgesamt wurden somit jeweils  $n = 21$  Patienten mit intra- und extraartikulärem OO, bei denen eine CT-gesteuerte RFA erfolgte, in diese Studie eingeschlossen.

### Klinisches Bild

Das lokale Krankenhausinformationssystem (KIS) lieferte Informationen zum klinischen Erscheinungsbild bei Erstvorstellung. Diese beinhalteten zum einen die Schmerzsymptomatik vor RFA. Hierbei wurde zwischen generalisierten Schmerzen und lokalen

Schmerzen unterschieden und eruiert, ob eine Schmerzsteigerung während der Nacht oder eine Schmerzbesserung infolge einer NSAR-Einnahme bestand. Eine vorliegende, um ein bestimmtes Gelenk lokalisierte Weichteilschwellung war ebenfalls Teil der klinischen Evaluation vor RFA. Darüber hinaus wurde die initiale Verdachtsdiagnose, mit der sich die Patienten vorstellten, ermittelt. Dabei handelte es sich um die klinische Verdachtsdiagnose zum Zeitpunkt der Überweisung in die Orthopädische Uniklinik, basierend auf der klinischen Untersuchung und verschiedenen, bildgebenden Verfahren (u. a. Sonografie, Röntgen, Szintigrafie und MRT). Radiologische Interventionsberichte, Dokumentationen der posttherapeutischen (radiologischen und orthopädischen) Visite sowie Arztbriefe der ambulanten Nachsorge lieferten Informationen über den klinischen Verlauf nach RFA. Diese beinhalteten die Entwicklung der Schmerzsymptomatik und das Auftreten von Komplikationen.

### RFA-Technik

Die CT-gesteuerte RFA wurde bei allen Patienten mit intra- und extraartikulärem OO in gleicher, standardisierter Technik durchgeführt [16–18]. Der Eingriff erfolgte unter sterilen Bedingungen und in Vollnarkose. Mithilfe eines Multidetektor-CT, inklusive multiplanarer Rekonstruktionen, wurde zunächst der Zugangsweg geplant. Nach Lokalanästhesie (Bupivacainhydrochlorid 0,5%) und Hautinzision folgte die Punktion mit einem koaxialen Knochenbiopsiesystem (Bonopty®; AprioMed, Uppsala, Schweden), bestehend aus einem Handbohrgerät (Länge 122 mm, Durchmesser 1,7 mm) und einer Penetrationskanüle (Länge 95 mm, Innendurchmesser 1,8 mm, Außendurchmesser 2,1 mm). Nach Entfernen des Platzhalters wurde die Ablationselektrode durch die Hohnadel eingeführt. Um die aktive Spitze innerhalb der Läsion zu platzieren, wurden dünn-schichtige, multiplanare Rekonstruktionen angefertigt. Je nach Größe der Läsion standen 2 Elektrodenspitzen (Cool-tip™; Valleylab, Tyco Healthcare Group LP, Boulder, CO, USA) mit unterschiedlicher Länge zur Verfügung (0,7 cm und 1,0 cm). Wenn die optimale Nadelposition erreicht war, wurde die Kanüle teilweise zurückgezogen, um eine Wärmeausbreitung entlang der Nadel zu verhindern. Dann wurde die RFA gestartet, indem die Energie langsam erhöht wurde, bis die Zieltemperatur von 90 °C erreicht war. Die Gesamtablationszeit betrug für jede einzelne Ablation immer 400 s, unabhängig von der anatomischen Lokalisation. Bei einem Patienten mit intraartikulärem OO am distalen Femur wurde eine Thermoprotektion des benachbarten, retropatellaren Knorpels durchgeführt. Dabei wurde der Gelenkraum mit einer 22G-Kanüle punktiert und mit destilliertem Wasser aufgefüllt, um einerseits eine Isolationsschicht zu generieren und andererseits den Abstand zur maximalen Hitzeentwicklung zu vergrößern. Im Allgemeinen wurden die Patienten nach einer posttherapeutischen Visite inklusive einer körperlichen Untersuchung innerhalb von 24 Stunden entlassen.

### MRT-Technik und Protokoll

Die MRT-Untersuchungen erfolgten an einem 70 cm-3T-Ganzkörper-MR-Scanner mit offener Bohrung (MAGNETOM Verio, Siemens Healthineers, Erlangen, Deutschland), ausgestattet mit einer 18-Kanal-Total-Imaging-Matrix (Tim-(102 × 18)-Konfigura-

tion) sowie verschiedenen dezidierten Spulen, je nach untersuchter Region (z. B. Kniespule, Flexspule, Körperspule). Alle Gelenke wurden mittels dezidierter MRT-Spulen untersucht. Die Untersuchung umfasste jeweils die gleiche Sequenzabfolge, entsprechend adaptiert an die jeweilige Untersuchungsregion. Das Untersuchungsprotokoll umfasste jeweils eine T1w-Sequenz ohne Fettsättigung, eine T2w-Sequenz ohne Fettsättigung und eine Short-Tau-Inversion-Recovery (STIR)-Sequenz vor Kontrastmittel (KM)-Gabe und eine T1w-Sequenz mit und ohne Fettsättigung in 2 Ebenen nach KM-Gabe. Die T1w-Sequenz ohne Fettsättigung wurde vor und nach KM-Gabe in der gleichen Ebene akquiriert, um eine Subtraktionsdarstellung zu ermöglichen. Bei n = 10 Patienten lagen MRT-Untersuchungen vor, die bei 1,5 Tesla Feldstärke durchgeführt wurden und hinsichtlich der verwendeten Sequenzen vergleichbar waren, sich jedoch hinsichtlich der Sequenzparameter (Echozeit, Repetitionszeit) unterschieden, wobei hier bei n = 8 Patienten kein KM appliziert wurde.

## Bildanalyse

Bei der Bildanalyse konzentrierten wir uns auf eine qualitative, visuelle Beurteilung. Ausgewertet wurde zum einen das Vorhandensein bzw. Fehlen von Erguss/Synovitis in der MRT. In den wenigen Fällen (n = 8), bei denen eine MRT ohne KM-Gabe durchgeführt wurde, erfolgte die Beurteilung einer Synovitis, in Übereinstimmung mit mehreren Arbeitsgruppen [19, 20], anhand der synovialen Hypertrophie und einem begleitenden Gelenkguss. Lag eine kontrastmittelgestützte MRT vor, wurde zusätzlich das verstärkte Enhancement der Synovialis zur Diagnose herangezogen. Des Weiteren wurde überprüft, ob ein Knochenmarködem, ein Weichteilödem oder eine Periostreaktion vorlagen. Eine Periostreaktion wurde definiert als eine T1- und T2-hypointense, periostale Verdickung oder von der Kortikalis abgehobene Schicht mit oder ohne T2-hyperintenser Flüssigkeitlamelle sowie korrespondierender KM-Aufnahme sub- oder paraperiostal. Zusätzlich wurden die MRT-Untersuchungen hinsichtlich periostaler Reaktion mit den präinterventionellen CT korreliert. Es wurden einfache, lamelläre Periostreaktionen mit oder ohne Unterbrechung sowie maligne Periostreaktionen, wie z. B. eine Spikulierung, das Codman-Dreieck oder ein „Sun-burst“-Phänomen, unterschieden. Als weiteres Merkmal wurden die Nidusdetektion in der MRT und die KM-Aufnahme sowie die Signalintensität des Nidus (Hypo-, Iso- oder Hyperintensität im Vergleich zum umgebenden Muskelgewebe) untersucht. Die Signalintensitäten des Nidus in den T2w-Sequenzen wurden anschließend mit dem Sklerosierungsgrad des Nidus in den präinterventionellen CT verglichen. Zum einen wurde die Ausdehnung der Sklerosierung im Verhältnis zur Gesamtgröße des Nidus (> 50 % und < 50 %) beurteilt und zum anderen die Dichte des Nidus (Hounsfield Units) gemessen. Die Beurteilung erfolgte immer auf der Schicht der größten Nidusausdehnung. Wenn eine Verlaufsuntersuchung vorlag, wurde diese in die Untersuchung miteinbezogen. Die gesamten Bilddatensätze waren im digitalen DICOM-Format auf unserem PACS (Bildarchivierungs- und -kommunikationssystem, GE Centricity Enterprise™, Version 4.2.7.4, General Electrics Healthcare Pty Ltd. Piscataway, New Jersey, USA) verfügbar und wurden von 2 Radiologen mit 5 und 15 Jahren Erfahrung in muskuloskeletaler Bildgebung im Konsens ausgewertet.

## Statistik

Die statistische Auswertung wurde mithilfe der statistischen Software SAS für Windows Version 9.4 (SAS Institute Inc., North Carolina) durchgeführt. Alle Analysen sind deskriptiv und explorativ. P-Werte werden 2-seitig berichtet und das Signifikanzniveau wurde auf 5 % gesetzt. Demografische und krankheitsspezifische Informationen sowie prätherapeutisches klinisches Erscheinungsbild, bildmorphologische Eigenschaften und posttherapeutisches Ansprechen wurden deskriptiv ausgewertet. Für kontinuierliche Merkmale wurden folgende statistischen Kenngrößen berechnet: n, Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum. Qualitative Merkmale wurden durch Angabe der absoluten und relativen Häufigkeiten der einzelnen Ausprägungen zusammengefasst. Sämtliche Merkmale wurden sowohl für die gesamte Population als auch getrennt für Patienten mit intra- und extraartikulärem OO ausgewertet. Zum Vergleich des Alters bei MRT vor RFA und des Zeitraums der MRT vor und nach RFA zwischen Patienten mit intra- und extraartikulärem OO wurde der exakte Wilcoxon-Rangsummentest herangezogen. Der Vergleich der Merkmale zum klinischen prätherapeutischen Erscheinungsbild sowie der prä- und posttherapeutischen MR-morphologischen Eigenschaften zwischen den Patienten mit intraartikulärem und extraartikulärem OO erfolgte unter Verwendung des Chi<sup>2</sup>-Tests. Bei Nichterfüllung der Voraussetzungen des Chi<sup>2</sup>-Tests wurde der exakte Test von Fisher herangezogen. Häufigkeiten wurden durch gruppierte Balkendiagramme visualisiert. Zur Beurteilung der diagnostischen Wertigkeit der Merkmale Erguss/Synovitis, Knochenmark- und Weichteilödem, Periostreaktion, KM-Aufnahme und Nidusnachweis zur Vorhersage eines intraartikulären OO wurden Sensitivität, Spezifität, positiv und negativ prädiktiver Wert sowie die exakten 95 %-Konfidenzintervalle berechnet und sind grafisch dargestellt.

## Ergebnisse

### Patientenkollektiv

Es wurden 32 männliche (76,2 %) und 10 weibliche (23,8 %) Patienten mit einem Durchschnittsalter von 19,4 Jahren (Bereich: 8,0–55,9 Jahre) in die Studie eingeschlossen. Betrachtet man die beiden Gruppen mit intra- und extraartikulärem OO hinsichtlich Alter und Geschlecht, ergaben sich 2 sehr homogene Patientengruppen. Am häufigsten war das OO am Femur (n = 18; 42,9 %) und am Humerus (n = 8; 19,0 %) lokalisiert. Die demografischen Informationen zum Kollektiv sowie die Lokalisationen der OO inklusive Häufigkeitsangaben sind in ► **Tab. 1** zusammengefasst.

### Klinisches Bild vor RFA

Bei n = 14 Patienten (66,7 %) mit intraartikulärem OO war initial eine falsche Verdachtsdiagnose zum Zeitpunkt der Überweisung gestellt worden. Im Gegensatz dazu war ein extraartikuläres OO bei 17 Patienten (81,0 %) bereits bei Erstvorstellung korrekt vermutet worden. Somit war die Anzahl falscher Erstdiagnosen in der Gruppe der intraartikulären OO signifikant höher im Vergleich zur Kontrollgruppe der extraartikulären OO (p = 0,0018). Eine

► **Tab. 1** Patientenkollektiv.

		intraartikulär	extraartikulär	gesamt
Geschlecht	männlich	16 (76,2%)	16 (76,2%)	32
	weiblich	5 (23,8%)	5 (23,8%)	10
Alter (Jahre)	n	21	21	42
	Mean	25,2	20,7	23,0
	SD	14,02	8,76	11,77
	Median	20,5	18,7	19,4
	Min	8,4	8,0	8,0
	Max	55,9	36,2	55,9
Lokalisation	Acetabulum	1 (4,8%)	1 (4,8%)	2
	Calcaneus	–	1 (4,8%)	1
	Femur	7 (33,3%)	8 (38,1%)	15
	Glenoid	1 (4,8%)	–	1
	Humerus	4 (19,0%)	4 (19,0%)	8
	Os capitatum	1 (4,8%)	–	1
	Os cuboideum	1 (4,8%)	–	1
	Os hamatum	1 (4,8%)	–	1
	Os metacarpale	–	1 (4,8%)	1
	Sacrum	1 (4,8%)	1 (4,8%)	2
	Talus	1 (4,8%)	1 (4,8%)	2
	Tibia	2 (9,5%)	2 (9,5%)	4
	Ulna	1 (4,8%)	1 (4,8%)	2
	Phalanx	–	1 (4,8%)	1

Übersicht über die verschiedenen Verdachtsdiagnosen und deren Häufigkeit liefert ► **Tab. 2**. Alle 42 Patienten beklagten lokale, nicht belastungsabhängige Schmerzen vor der Behandlung. N = 15 Patienten mit intraartikulärem OO (71,4%) und n = 18 Patienten mit extraartikulärem OO (85,7%) berichteten über nächtlich zunehmende Schmerzen. Bei n = 2 Patienten (n = 1 intraartikuläres OO, n = 1 extraartikuläres OO) trat keine nächtliche Schmerzzunahme auf. Hinsichtlich der Schmerzsymptomatik vor RFA ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen intra- und extraartikulärem OO. Bei n = 13 Patienten mit intraartikulärem OO (61,9%) und n = 14 Patienten mit extraartikulärem OO (66,7%) wurde ein Ansprechen auf NSAR dokumentiert. Auch diesbezüglich gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Patientengruppen. Insgesamt n = 5 Patienten mit einem intraartikulären OO wiesen zusätzlich das klinische Bild einer Weichteilschwellung, die um ein bestimmtes Gelenk lokalisiert war, auf (11,9%), während kein Patient aus der Gruppe der extraartikulären OO diesen Befund zeigte ( $p = 0,0478$ ).

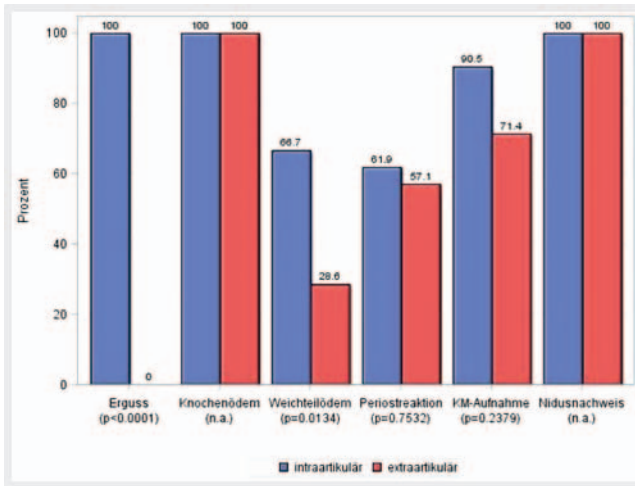
### MRT-Merkmale vor RFA

Der Nidus konnte in jedem Fall unabhängig von der Lokalisation mittels MRT identifiziert werden. In ► **Abb. 1** sind die MR-morphologischen Eigenschaften vor RFA und deren Häufigkeit in der

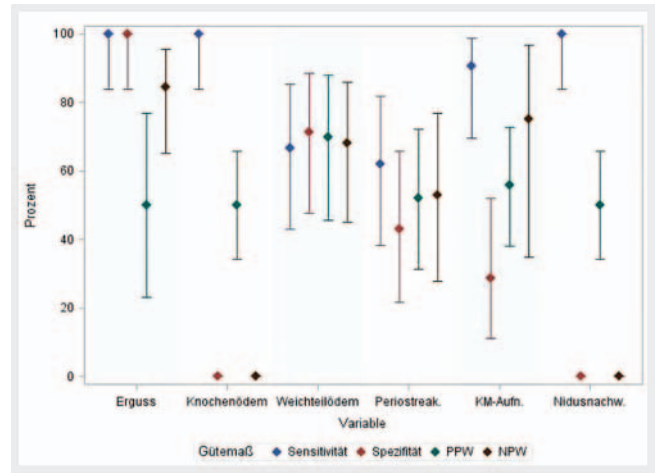
► **Tab. 2** Initiale Verdachtsdiagnosen.

initiale Verdachtsdiagnose	intraartikulär	extraartikulär
Osteoidosteom	7 (33,3%)	17 (81,0%)
unklare Raumforderung	3 (14,3%)	2 (9,5%)
Osteomyelitis	3 (14,3%)	1 (4,8%)
Malignom	2 (9,5%)	–
posttraumatische Schmerzen	2 (9,5%)	–
Epicondylitis radialis humeri	1 (4,8%)	–
Meniskusläsion	1 (4,8%)	–
CRMO	1 (4,8%)	–
Enchondrom	–	1 (4,8%)
Chondroblastom	1 (4,8%)	–

CRMO = chronisch rekurrende multifokale Osteomyelitis.



► **Abb. 1** MR-Charakteristiken vor RFA.



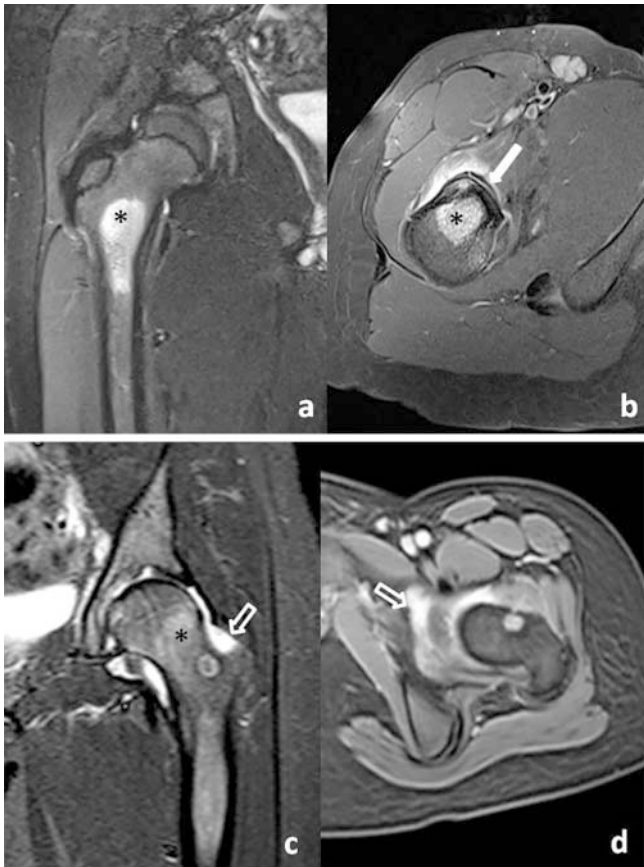
► **Abb. 2** Gütekriterien der MRT-Charakteristiken zur Evaluation eines intraartikulären Osteoidosteoms.

Gruppe der intra- und extraartikulären OO aufgeführt. ► **Abb. 2** veranschaulicht die daraus resultierenden Gütekriterien der MRT-Charakteristiken zur Evaluation eines intraartikulären OO. Während bei allen Patienten mit intraartikulärem OO ein Erguss und eine Synovitis beobachtet wurden (► **Abb. 3c, d, 4a, b**), zeigte keiner in der Vergleichsgruppe diesen Befund. Daraus resultieren für Erguss und Synovitis ein hochsignifikant häufigeres Auftreten in der Gruppe der intraartikulären OO ( $p < 0,0001$ ) und eine perfekte Sensitivität (100 %) und Spezifität (100 %) sowie ein hoher negativer prädiktiver Wert von 84,6 % zur Vorhersage eines intraartikulären OO. Sowohl das intraartikuläre als auch das extraartikuläre OO zeigten in allen Fällen ein begleitendes Knochenmarködem (100 %). Ein Knochenmarködem ist somit hoch sensitiv (100 %) bezüglich der Detektion eines intraartikulären OO, bei jedoch geringer Spezifität sowie niedrigen positiven und negativen Vorhersagewerten. Wenn eine KM-Gabe in der MRT erfolgte, konnte immer eine KM-Aufnahme des Nidus beobachtet werden (► **Abb. 3b, d, 4b**). In 8 Fällen wurde kein KM verwendet (19,0 %), trotz entsprechender Empfehlung. Dies ergibt eine hohe Sensitivität (90 %) und einen hohen negativen Vorhersagewert (75 %) für dieses Merkmal bezüglich eines intraartikulären OO. Mit  $n = 14$  Patienten (66,7 %) wurde ein perifokales Weichteilödem signifikant häufiger in der Gruppe der intraartikulären OO beobachtet, verglichen mit  $n = 6$  Patienten (28,6 %) aus der Gruppe der extraartikulären OO ( $p = 0,0143$ ). Ein Weichteilödem hat jedoch mit einer Sensitivität von 66,7 % und einer Spezifität von 71,4 % keine hohen Gütekriterien zur Evaluation eines intraartikulären OO. Eine Periostreaktion im MRT wurde bei  $n = 13$  Patienten (61,9 %) mit intraartikulärem und  $n = 12$  Patienten (57,1 %) mit extraartikulärem OO gefunden (► **Abb. 3b**). Die periostalen Reaktionen konnten im Rahmen einer Korrelation mit den vorliegenden, präinterventionellen CT-Bildern in allen Fällen bestätigt werden (► **Abb. 4a, c**). In diesem Kollektiv zeigten sich lediglich einfache lamelläre, nicht unterbrochene Periostreaktionen, während aggressive Formen, wie z. B. Spikulierungen, nicht auftraten. Hinsichtlich einer Periostreaktion konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Vergleichsgruppen festgestellt werden ( $p = 0,7532$ ). Die T1w-Sequenzen zeigten keine einheit-

liche Signalintensität des Nidus (54,8 % hypointens, 35,7 % isointens, 7,1 % hyperintens). Auch das T2-Signal des Nidus war insgesamt sehr heterogen (16,7 % hypointens, 9,5 % isointens, 73,8 % hyperintens). Zwischen intra- und extraartikulärem OO ergab sich kein signifikanter Unterschied hinsichtlich des Signalverhaltens. Die Korrelation der T2w-Signale mit dem Sklerosierungsgrad des Nidus im CT zeigte, dass alle intra- und extraartikulären OO mit einer Sklerosierung des Nidus von  $< 50$  % in der CT ein hyperintenses (93,4 %) oder isointenses (6,6 %) Signal in den T2w-Sequenzen aufwiesen. Bei vereinzelt OO mit hyper- bzw. isointensem T2w-Signal konnten jedoch an Stellen mit fokalen, häufig punktförmigen Sklerosierungen in der CT auch hypointense Anteile in den T2w-Sequenzen gefunden werden. OO mit einer Sklerosierung des Nidus von  $> 50$  % in der CT zeigten dagegen überwiegend ein hypointenses T2w-Signal (88,9 %). Die OO mit hyperintensem T2w-Signal hatten im CT eine mittlere Dichte von 237,4 HU (119–386 HU), die OO mit hypointensem T2w-Signal eine mittlere Dichte von 528,3 HU (368–787 HU).

### MRT-Charakteristik nach RFA

Bei einer Subgruppe von  $n = 31$  Patienten lag eine MRT-Bildgebung nach RFA vor ( $n = 17$  Patienten mit intraartikulärem OO,  $n = 14$  Patienten mit extraartikulärem OO). Die mediane Zeit zwischen prä- und posttherapeutischer MRT-Untersuchung betrug 6,4 Monate (Spannweite: 1,5–25,1 Monate). Bei  $n = 24$  Patienten erfolgte eine KM-Gabe bei der Verlaufs-MRT. Sowohl bei den intraartikulären als auch bei den extraartikulären OO wurden nach RFA immer ein rückläufiges Knochenmarködem und eine rückläufige KM-Aufnahme des Nidus beobachtet. Erguss/Synovitis war bei allen Patienten mit intraartikulärem OO abnehmend. Bei Patienten mit extraartikulärem OO traten auch im Verlauf kein Erguss und keine Synovitis auf. Wenn prätherapeutisch ein Weichteilödem oder eine Periostreaktion vorlag, zeigte sich sowohl beim intra- als auch beim extraartikulären OO eine Abnahme der Befunde nach RFA. Waren die Befunde initial nicht vorhanden, traten diese auch im Verlauf nicht auf. Zusammenfassend zeigten alle untersuchten MRT-Befunde, insofern diese vorbestanden, in

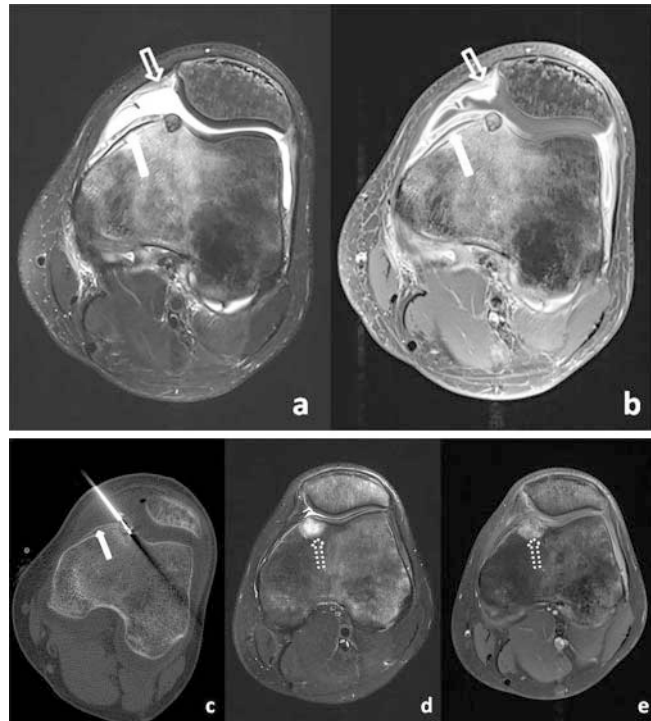


► **Abb. 3** **a, b** 9-jähriger Patient mit extraartikulärem Osteoidosteom am proximalen Femur rechts. **a** In der koronalen STIR ist ein deutliches Knochenmarködem erkennbar (Stern). Ein Gelenkguss liegt nicht vor. **b** Der Nidus zeigt in der axialen T1-post-KM ein starkes Enhancement. Zusätzlich demarkiert sich das verdickte, T1-hypointense und von der Kortikalis abgehobene Periost mit schmaler, subperiostaler KM-Aufnahme im Sinne einer periostalen Reaktion (Pfeil). Ventral sieht man eine reaktive KM-Anreicherung im angrenzenden Weichgewebe. **c, d** 13-jährige Patientin mit intraartikulärem Osteoidosteom am proximalen Femur links. **c** Bereits in der koronalen STIR ist der Nidus im Bereich des Schenkelhalses gut identifizierbar. Neben einem perifokalen Knochenödem (Stern) zeigt sich auch ein deutlicher Gelenkguss (offener Pfeil). **d** In der axialen T1-post-KM kann man ein kräftiges Enhancement der Gelenkkapsel im Sinne einer Synovitis erkennen (offener Pfeil). Der Nidus nimmt homogen Kontrastmittel auf.

beiden Gruppen eine Abnahme nach der Behandlung mit RFA. Die T1- und T2-Signalintensitäten des Nidus blieben auch nach RFA insgesamt sehr variabel und unterschieden sich nicht signifikant zwischen intra- und extraartikulären OO. ► **Abb. 4** zeigt exemplarisch einen Patienten aus der Untersuchungsreihe mit intraartikulärem OO am distalen Femur mit den MRT-Charakteristiken vor und nach RFA.

### Klinischer Verlauf nach RFA

Alle Patienten berichteten über eine abnehmende Schmerzsymptomatik nach RFA. Komplikationen wurden in keinem der Fälle beobachtet. Bei einem Patienten wurde zur Protektion des Gelenk-



► **Abb. 4** 17-jähriger Patient mit intraartikulärem Osteoidosteom am distalen Femur links. **a, b** MRT vor RFA. In der axialen T2fs **a** sind ein Knochenödem und eine Synoviaverdickung mit ausgeprägtem Gelenkguss zu erkennen (offener Pfeil). In der axialen T1-post-KM **b** zeigt sich ein deutliches synoviales Enhancement (offener Pfeil) sowie eine Kontrastmittelaufnahme des Nidus. In beiden Sequenzen ist zudem eine hypointense Periostabhebung mit subperiostaler Flüssigkeitsansammlung und KM-Aufnahme gut abgrenzbar (Pfeil). **c** Axiale Planungs-CT vor RFA. Die CT-gesteuerte RFA erfolgte mit einer 7 mm unipolaren RFA-Elektrode und einer Temperatur von 90 °C über eine Ablationszeit von 6 min. Zur Protektion des retropatellaren Gelenkknorpels wurde die Gelenkhöhle mit destilliertem Wasser gespült. In Korrelation zur MRT demarkiert sich das abgehobene, hypersklerosierte Periost (Pfeil). **d, e** MRT 3 Monate nach RFA. In der axialen T2fs **d** und axialen T1-post-KM **e** lässt sich der Nidus nicht mehr eindeutig identifizieren. Gelenkguss/Synovitis und Knochenödem sind deutlich rückläufig. Im Ablationsareal zeigt sich eine flächige T2-Signalanhebung mit korrelierender KM-Anreicherung (gestrichelter Pfeil), was in erster Linie als posttherapeutisch-reaktive Veränderungen zu werten ist.

knorpels die Gelenkhöhle mit destilliertem Wasser gespült. Hierunter trat kein posttherapeutischer Knorpelschaden auf.

### Diskussion

Die in der vorliegenden Studie dokumentierte hohe Rate an klinisch falschen Verdachtsdiagnosen verdeutlicht die Herausforderung bei der Diagnostik des intraartikulären OO, das meist mit unspezifischen Symptomen und untypischen radiologischen Zeichen in Erscheinung tritt. Auch in der Literatur finden sich zahlreiche Fallbeschreibungen, die über häufige Fehldiagnosen und eine bis zu 10 Jahre verzögerte Therapie berichten [21, 22]. In dieser Studie war der Nidus immer mittels hochauflösender MRT zu identifizieren und damit die Diagnose eines intraartikulären OO zu

stellen. Dies steht im Gegensatz zu Ergebnissen früherer Studien, bei denen der Nidus in bis zu 35 % nicht mittels MRT und nur mittels CT detektierbar war [23]. Damit wird die technische Entwicklung der MRT hinsichtlich Bildqualität und Auflösung verdeutlicht, die bei entsprechend dezidiertem Untersuchungstechnik inzwischen den sicheren Nidusnachweis ermöglicht. Die wichtigsten MRT-Zeichen zur Diagnose eines intraartikulären OO sind die Synovitis und der Gelenkerguss, die beim intraartikulären OO immer zu finden sind und mit perfekter Sensitivität und Spezifität sowie einem hohen negativen prädiktiven Wert von einem extraartikulären OO unterscheiden können. Grund für das Auftreten von Erguss und Synovitis beim intraartikulären OO scheint eine COX-2-Expression in Osteoblasten innerhalb des Nidus zu sein, die über den Arachidonsäure-Stoffwechselweg zu einer Produktion von Prostaglandinen führt und somit eine lymphofollikuläre Entzündung im angrenzenden Synovialgewebe induziert [24–26]. Die Kenntnis der in diesem Aspekt grundsätzlich unterschiedlichen Morphologie des intraartikulären OO in Abgrenzung zum extraartikulären OO hat klinische Relevanz. Insbesondere bei jungen Patienten mit Gelenkerguss/Synovitis sollte ein intraartikuläres OO in die Differenzialdiagnosen einbezogen werden. In diesen Fällen sollte dann gezielt nach einem Nidus gesucht werden, der für die Diagnosestellung eines OO zwingend notwendig ist und damit auch die häufigen Fehldiagnosen vermeidet. Auf der anderen Seite kann ein intraartikuläres OO praktisch ausgeschlossen werden, wenn Zeichen einer Synovitis und eines Gelenkergusses fehlen. Das bedeutet, dass man bei intraartikulären osteolytischen Knochenläsionen ohne Synovitis/Gelenkerguss das OO nicht als zwingende Diagnose aufnehmen und andere Differenzialdiagnosen vorrangig erwägen sollte. Dies verdeutlicht, dass die Kenntnis der unterschiedlichen MRT-Charakteristiken in Abgrenzung zum extraartikulären OO für den Radiologen unerlässlich ist, um ein intraartikuläres OO sicher zu diagnostizieren bzw. auszuschließen. Der Nidus selbst stellte sich in vorliegender Studie und in Übereinstimmung mit Vorarbeiten mit heterogenem Signalverhalten in den T1w- und T2w-Sequenzen dar [27]. Unterschiede zwischen intraartikulären und extraartikulären OO waren in Bezug auf das Signalverhalten statistisch nicht signifikant. In einer Korrelation des T2w-Signals mit den präinterventionell durchgeführten Planungs-CT konnten wir feststellen, dass die in der CT zu > 50 % sklerosierten OO überwiegend T2w-hypointense Signale aufwiesen und insgesamt deutlich höhere Dichtewerte im Vergleich zu den OO mit hyper- bzw. isointensem T2w-Signal hatten. Somit scheint das T2w-Signal maßgeblich von dem Ausmaß der Kalzifizierung abzuhängen. Dies deckt sich mit Ergebnissen von Allen et al. [2], wonach das Signalverhalten vom Grad der Sklerosierung sowie Alter, Größe und Vaskularisation abhängt. Insgesamt sind die T1- und T2-Signalintensitäten sehr uneinheitlich und haben für sich daher einen eingeschränkten diagnostischen Wert. Der Nidus nahm in unserer Studie in allen Fällen KM auf, wenn eine KM-Gabe erfolgte. Insbesondere aufgrund des heterogenen Signalverhaltens in den nativen T1w-/T2w-Sequenzen festigt die KM-Aufnahme des Nidus die Diagnose, grenzt sie von anderen Differenzialdiagnosen wie z. B. Ganglien ab und hilft bei der Beurteilung hinsichtlich eines Rezidivs im Verlauf [23, 27–29]. Mit einer Sensitivität von 100 % in beiden Gruppen eignet sich ein Knochenmarködem perfekt, um sowohl ein extra- als auch ein

intraartikuläres OO in der MRT sicher zu erkennen. Ist kein Knochenmarködem vorhanden, kann ein OO praktisch ausgeschlossen werden. Wenn allerdings ein Knochenmarködem zu finden ist, dann sollte insbesondere bei jungen Patienten explizit nach weiteren Merkmalen eines OO gesucht werden. Ein perifokales Weichteilödeme konnte zwar häufiger beim intraartikulären OO beobachtet werden, war aber nicht immer vorhanden. Daher kann es allenfalls hinweisend auf ein intraartikuläres OO sein und aufgrund der geringen Spezifität nicht zuverlässig von einem extraartikulären OO differenzieren. Einfache lamelläre, nicht unterbrochene Periostreaktionen traten in beiden Gruppen auf, können aufgrund der niedrigen prädiktiven Wertigkeit jedoch nicht zur Unterscheidung zwischen intra- und extraartikulärer Lokalisation eines OO herangezogen werden. Wir konnten zeigen, dass die MRT gut geeignet ist, um ein intraartikuläres OO zu identifizieren und von einem extraartikulären OO zu unterscheiden. Die Durchführung einer MRT kann somit eine verzögerte Diagnosestellung vermeiden und eine frühzeitige Behandlung ermöglichen. Dies ist insbesondere bei jungen Patienten in der Wachstumsphase von großer Bedeutung, da ein intraartikuläres OO zu chronischen Schädigungen des Gelenkknorpels und vermehrt zu knöchernen Fehlbildungen führen kann [30]. Mit der CT-gesteuerten RFA steht eine sichere und effiziente Therapie des OO zur Verfügung, die zu einem Rückgang der pathologischen MRT-Befunde führt und ausgezeichnete klinische Ergebnisse erzielt [16–18]. Darüber hinaus liegen vielversprechende Ergebnisse zur Therapie mittels hochfrequenten Ultraschalls vor [31]. Bei intraartikulären OO in kritischer Lage zum Gelenkknorpel können protektive Maßnahmen, wie z. B. die Erzeugung eines künstlichen Gelenkergusses, das Risiko posttherapeutischer Knorpeldefekte verringern. Auch in der vorliegenden Studie zeigten sich sowohl die Schmerzsymptomatik als auch die MR-morphologischen Veränderungen deutlich rückläufig nach RFA.

## Limitationen

Die vorliegende Studie weist eine Anzahl von Limitierungen auf, die bei möglichen Schlussfolgerungen zu bedenken sind. Da es sich um eine retrospektive Studie handelt, für die bewusst 2 gleich große Patientengruppen mit ähnlichen Lokalisationen eines OO gebildet wurden, um die Vergleichbarkeit der MRT-Charakteristiken von intra- und extraartikulären OO zu ermöglichen, könnte sich ein Selektionsbias ergeben. Eine Randomisierung konnte aufgrund der retrospektiven Auswertung nicht erfolgen. Eine weitere Einschränkung ergibt sich aus dem Nichtvorhandensein einer gesunden Kontrollgruppe. Hauptziel dieser Arbeit war es jedoch, intra- und extraartikuläre OO hinsichtlich des klinischen Erscheinungsbildes und MRT-Eigenschaften miteinander zu vergleichen. Die MRT-Untersuchungen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten im Krankheitsverlauf durchgeführt, sodass Fragen zum Zeitpunkt des Auftretens bestimmter Merkmale nicht beantwortet werden können. Das Untersuchungsprotokoll war nicht in allen Fällen einheitlich und es wurden trotz entsprechender Empfehlung bei n = 8 Patienten MRT-Untersuchungen ohne KM-Gabe durchgeführt. Ein einheitliches Untersuchungsprotokoll würde die Validität unserer Ergebnisse verbessern. Bei der Beurteilung einer Synovitis in den MRT ohne KM-Gabe wurde der Befund als



„keine Synovitis“ gewertet, wenn ein Erguss fehlte und keine Synoviaverdickung nachweisbar war. In diesen Fällen ist es theoretisch vorstellbar, dass sich die Synovitis nur durch die KM-Aufnahme zeigte und damit falsch negativ diagnostiziert wurde. Eine weitere Limitation dieser Arbeit ist die fehlende histologische Sicherung der OO, die jedoch im Konsens mit vielen anderen Arbeitsgruppen nicht zwingend zur Diagnosestellung benötigt wird, wenn klinisches und bildmorphologisches Erscheinungsbild typisch sind [15, 16]. Das Patientenkollektiv ist mit n = 42 Patienten relativ klein, jedoch ist die Gruppe der intraartikulären OO die größte bisher beschriebene.

### KLINISCHE RELEVANZ DER STUDIE

- Die klinische Diagnose bei intraartikulären OO ist häufig problematisch und andere Differenzialdiagnosen stehen im Vordergrund. Die korrekte Diagnose ist daher nicht selten verzögert, die klinische Schmerzsymptomatik prolongiert und die spezifische Therapie verspätet.
- Die MRT ist hervorragend geeignet, sowohl extra- als auch intraartikuläre OO zu diagnostizieren. Gelenkerguss und Synovitis sind bei intraartikulären OO immer vorhanden und unterscheiden beide Formen mit perfekter Sensitivität/Spezifität.
- Insbesondere bei jungen/jugendlichen Patienten mit Gelenkerguss und typischer Schmerzsymptomatik sollte daher immer an ein intraartikuläres OO gedacht werden. Die Darstellung des Nidus und des perifokalen Knochen- und Weichteilödems mittels MRT erlauben die Diagnose.
- Alle MRT-Veränderungen, die eine Aktivität anzeigen, wie Synovitis, KM-Aufnahme des Nidus, Knochenmark- und Weichteilödem, sind nach erfolgreicher RFA rückläufig.
- Das klinische Ergebnis nach RFA ist für beide Lokalisationen exzellent.

### Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### Literatur

- Lee EH, Shafi M, Hui JH. Osteoid osteoma: a current review. *J Pediatr Orthop* 2006; 26: 695–700. doi:10.1097/01.bpo.0000233807.80046.7c
- Allen SD, Saifuddin A. Imaging of intra-articular osteoid osteoma. *Clin Radiol* 2003; 58: 845–852
- May CJ, Bixby SD, Anderson ME et al. Osteoid Osteoma About the Hip in Children and Adolescents. *J Bone Joint Surg Am* 2019; 101: 486–493. doi:10.2106/JBJS.18.00888
- Norman A, Abdelwahab IF, Buyon J et al. Osteoid osteoma of the hip stimulating an early onset of osteoarthritis. *Radiology* 1986; 158: 417–420. doi:10.1148/radiology.158.2.3941866
- Weber KL, Morrey BF. Osteoid osteoma of the elbow: a diagnostic challenge. *J Bone Joint Surg Am* 1999; 81: 1111–1119
- Snow SW, Sobel M, DiCarlo EF et al. Chronic ankle pain caused by osteoid osteoma of the neck of the talus. *Foot Ankle Int* 1997; 18: 98–101. doi:10.1177/107110079701800211
- Sprengel SD, Weber MA, Lehner B et al. Osteoidosteoma. From diagnosis to treatment. *Radiologe* 2015; 55: 479–486. doi:10.1007/s00117-014-2805-5
- Szendroi M, Kollo K, Antal I et al. Intraarticular osteoid osteoma: clinical features, imaging results, and comparison with extraarticular localization. *J Rheumatol* 2004; 31: 957–964
- Frassica FJ, Waltrip RL, Sponseller PD et al. Clinicopathologic features and treatment of osteoid osteoma and osteoblastoma in children and adolescents. *Orthop Clin North Am* 1996; 27: 559–574
- Firooznia H, Rafii M, Golimbu C. Computed tomography of osteoid osteoma. *J Comput Tomogr* 1985; 9: 265–268
- Pikoulas C, Mantzikopoulos G, Thanos L et al. Unusually located osteoid osteomas. *Eur J Radiol* 1995; 20: 120–125
- Mommert I, Heuschmidt M, Suckel A. Intraarticular osteoid osteoma as a cause of chronic ankle pain. *Orthopade* 2009; 38: 269–273. doi:10.1007/s00132-009-1412-z
- Filippiadis DK, Velonakis G, Kostantos C et al. Computed tomography-guided radiofrequency ablation of intra-articular osteoid osteoma: a single centre's experience. *Int J Hyperthermia* 2017; 33: 670–674. doi:10.1080/02656736.2017.1294711
- Heuck A, Reiser M, Lehner K. Imaging of osteoid osteoma by MR tomography. *Radiologe* 1988; 28: 522–527
- Vanderschueren GM, Taminiau AH, Obermann WR et al. Osteoid osteoma: clinical results with thermocoagulation. *Radiology* 2002; 224: 82–86. doi:10.1148/radiol.2241011135
- Rehnitz C, Sprengel SD, Lehner B et al. CT-guided radiofrequency ablation of osteoid osteoma and osteoblastoma: clinical success and long-term follow up in 77 patients. *Eur J Radiol* 2012; 81: 3426–3434. doi:10.1016/j.ejrad.2012.04.037
- Weber MA, Sprengel SD, Omlor GW et al. Clinical long-term outcome, technical success, and cost analysis of radiofrequency ablation for the treatment of osteoblastomas and spinal osteoid osteomas in comparison to open surgical resection. *Skeletal Radiol* 2015; 44: 981–993. doi:10.1007/s00256-015-2139-z
- Rehnitz C, Sprengel SD, Lehner B et al. CT-guided radiofrequency ablation of osteoid osteoma: correlation of clinical outcome and imaging features. *Diagn Interv Radiol* 2013; 19: 330–339. doi:10.5152/dir.2013.096
- Hill CL, Hunter DJ, Niu J et al. Synovitis detected on magnetic resonance imaging and its relation to pain and cartilage loss in knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 2007; 66: 1599–1603. doi:10.1136/ard.2006.067470
- Loeuille D, Sauliere N, Champigneulle J et al. Comparing non-enhanced and enhanced sequences in the assessment of effusion and synovitis in knee OA: associations with clinical, macroscopic and microscopic features. *Osteoarthritis Cartilage* 2011; 19: 1433–1439. doi:10.1016/j.joca.2011.08.010
- Franceschi F, Marinozzi A, Papalia R et al. Intra- and juxta-articular osteoid osteoma: a diagnostic challenge: misdiagnosis and successful treatment: a report of four cases. *Arch Orthop Trauma Surg* 2006; 126: 660–667. doi:10.1007/s00402-006-0203-9
- Francesco B, Andrea LA, Vincenzo S. Intra-articular osteoid osteoma of the lower extremity: diagnostic problems. *Foot Ankle Int* 2002; 23: 264–267. doi:10.1177/107110070202300314
- Davies M, Cassar-Pullicino VN, Davies AM et al. The diagnostic accuracy of MR imaging in osteoid osteoma. *Skeletal Radiol* 2002; 31: 559–569. doi:10.1007/s00256-002-0546-4
- Mungo DV, Zhang X, O'Keefe RJ et al. COX-1 and COX-2 expression in osteoid osteomas. *J Orthop Res* 2002; 20: 159–162. doi:10.1016/S0736-0266(01)00065-1
- Kawaguchi Y, Sato C, Hasegawa T et al. Intraarticular osteoid osteoma associated with synovitis: a possible role of cyclooxygenase-2 expression by osteoblasts in the nidus. *Mod Pathol* 2000; 13: 1086–1091. doi:10.1038/modpathol.3880202

- [26] Snarr JW, Abell MR, Martel W. Lymphofollicular synovitis with osteoid osteoma. *Radiology* 1973; 106: 557–560. doi:10.1148/106.3.557
- [27] Assoun J, Richardi G, Railhac JJ et al. Osteoid osteoma: MR imaging versus CT. *Radiology* 1994; 191: 217–223. doi:10.1148/radiology.191.1.8134575
- [28] Teixeira PA, Chanson A, Beaumont M et al. Dynamic MR imaging of osteoid osteomas: correlation of semiquantitative and quantitative perfusion parameters with patient symptoms and treatment outcome. *Eur Radiol* 2013; 23: 2602–2611. doi:10.1007/s00330-013-2867-1
- [29] von Kalle T, Langendorfer M, Fernandez FF et al. Combined dynamic contrast-enhancement and serial 3D-subtraction analysis in magnetic resonance imaging of osteoid osteomas. *Eur Radiol* 2009; 19: 2508–2517. doi:10.1007/s00330-009-1430-6
- [30] Song MH, Yoo WJ, Cho TJ et al. Clinical and radiological features and skeletal sequelae in childhood intra-/juxta-articular versus extra-articular osteoid osteoma. *BMC Musculoskelet Disord* 2015; 16: 3. doi:10.1186/s12891-015-0456-y
- [31] Arrigoni F, Napoli A, Bazzocchi A et al. Magnetic-resonance-guided focused ultrasound treatment of non-spinal osteoid osteoma in children: multicentre experience. *Pediatr Radiol* 2019; 49: 1209–1216. doi:10.1007/s00247-019-04426-0