

# Magnetresonanztomografie peripherer Gelenke – up-date 2016

## Magnetic Resonance Imaging of Peripheral Joints: Update 2016

### Autoren

P. Sewerin<sup>1</sup>, C. Schleich<sup>2</sup>, B. Ostendorf<sup>1</sup>

### Institute

- 1 Poliklinik, Funktionsbereich & Hiller-Forschungszentrum für Rheumatologie, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf
- 2 Institut für diagnostische und interventionelle Radiologie, Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf, Düsseldorf

### Schlüsselwörter

Bildgebung, MRT, Rheumatoide Arthritis, Psoriasis Arthritis

### Key words

imaging, MRI, rheumatoid arthritis, psoriasis arthritis

### Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0042-106080>

Online-Publikation: 11.8.2016

Akt Rheumatol 2017; 42: 399–403

© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York

ISSN 0341-051X

### Korrespondenzadresse

Dr. med. Philipp Sewerin

Poliklinik, Funktionsbereich & Hiller-Forschungszentrum für Rheumatologie

Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Moorenstr. 5

40225 Düsseldorf

[philipp.sewerin@med.uni-duesseldorf.de](mailto:philipp.sewerin@med.uni-duesseldorf.de)

### ZUSAMMENFASSUNG

Moderne und innovative bildgebende Verfahren spielen heute in der Rheumatologie eine zunehmend wichtige Rolle und werden dabei regelhaft bei Diagnosestellung und Therapiekontrolle eingesetzt. Neben der Sonografie, welche heute die rechte Hand des Rheumatologen darstellt, ist die Magnetresonanztomografie (MRT), auch und gerade peripherer Gelenke, zu-

nehmend in den wissenschaftlichen Fokus gerückt. Sie ist in der Lage hochsensitiv entzündliche artikuläre, periartikuläre und ossäre Veränderungen (wie die Synovialitis oder das Knochenmarködem) zu erkennen und dann darüber hinaus deutlich früher als bspw. das konventionelle Röntgen erosive Gelenkveränderungen ab zu bilden. Neben diesen Vorteilen ist es heute durch standardisierte Scoring-Systeme möglich MRT-Untersuchungen besser zu vergleichen, wobei hierfür erste vereinfachte Scores entwickelt und evaluiert wurden. Durch neue und innovative Sequenzen können frühzeitig Veränderungen des Knorpels erkannt werden. Dynamische MRT-Sequenzen versprechen eine noch genauere Darstellung lokaler Inflammation und sind neben hybriden bildgebenden Verfahren (z. B. PET-MRT oder SPECT-MRT) aktuell Gegenstand intensiver wissenschaftlicher Forschung.

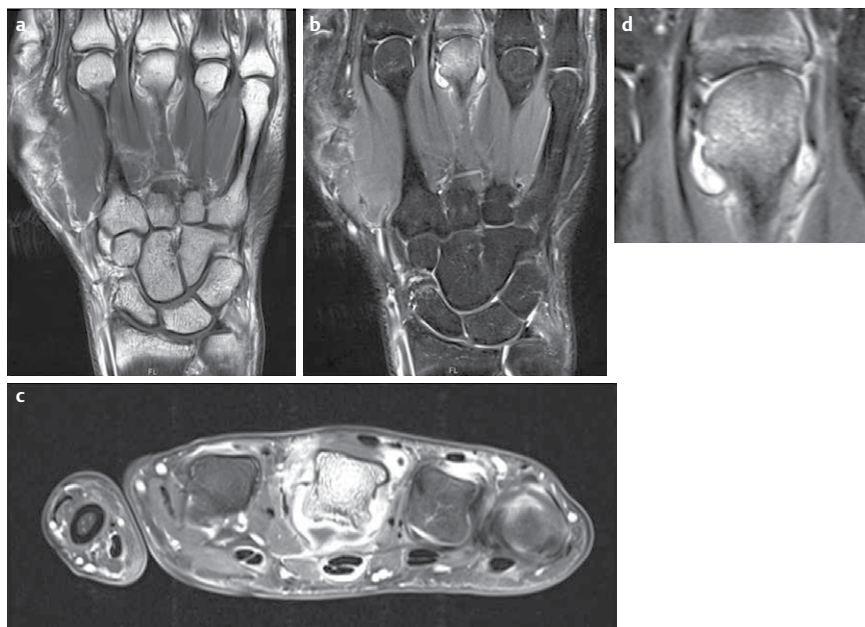
### ABSTRACT

Modern and innovative imaging techniques play an important role in the field of rheumatic diseases today and are used for diagnosis and treatment control on a regular basis. In addition to sonography, which is the “right-hand man” of a rheumatologist today, magnetic resonance imaging (MRI), especially of the peripheral joints, has moved into the focus of scientific research. Modern MRI techniques demonstrate inflammatory articular, periarticular and bony lesions (such as synovitis and bone marrow oedema) with a high level of sensitivity. Moreover they can depict erosive joint damage much earlier than conventional x-rays. In addition to these advantages, standardised scoring systems help to make MRI scans more comparable today, with some initial simplified scores having been developed and evaluated for this purpose. Due to new and innovative MRI sequences, cartilage damage can be detected at an early point in time. Dynamic MRI sequences promise an ever more precise depiction of local inflammation and, along with hybrid imaging techniques (such as PET-MRI or SPECT-MRI), they are currently the focus of intensive scientific research.

## Einleitung

Bildgebende Verfahren spielen heute eine wichtige und unverzichtbare Rolle in den diagnostischen Algorithmen und der Therapiekontrolle zahlreicher entzündlich-rheumatischer Erkrankungen. Durch die immer besseren Behandlungsmöglichkeiten und die damit verbundenen Ziele ist eine enge Therapiekontrolle neben

der frühen Diagnosestellung von großer Bedeutung. So wird in den Empfehlungen der European league against rheumatism (EULAR) bei der Diagnosestellung und Therapiekontrolle die Hinzunahme bildgebender Verfahren empfohlen, da diese besser als klinische Untersuchung allein – auch subklinische – Inflammation detektieren kann [1]. Neben der Sonografie, welche heutzutage immer



► **Abb. 1** 3-Tesla-Hochfeld MRT der rechten Hand eines 19-jährigen Patienten mit früher seropositiver RA (Krankheitsdauer 6 Woche). **a** T1-Sequenz mit Kontrastmittel (KM), coronare Schnittführung. **b** STIR-Sequenz, coronare Schnittführung. **c** T1-Sequenz mit KM, axiale Schnittführung. **d** vergrößerte Darstellung der Synovialitis mit Nachweis eines begleitenden Knochenmarködems (MCP-3)

mehr als „bedside imaging“ Verfahren die „rechte Hand“ des Rheumatologen darstellt, ist auch die Magnetresonanztomografie (MRT) in den letzten Jahren zunehmend in den wissenschaftlichen und auch praxisnahen Fokus gerückt, wobei die Anzahl der durchgeführten validierten Studienprotokolle stieg und deren Stellenwert zunehmend wichtiger wurde [2]. Neben dem Einsatz bei axialen Spondylarthritiden [3] wird die MRT auch in der Abklärung peripherer Arthritiden immer häufiger eingesetzt [1, 4], weil mit dieser Technik deutlich früher entzündliche Veränderungen an den Gelenken erfasst werden können, welche dem konventionellen Röntgenbild häufig entgehen. Diese zusätzlichen strukturellen Informationen über z. B. ein vorliegendes Knochenmarködem, dem Nachweis einer subklinischen Arthritis oder der klinisch oft unterschätzten Enthesitis oder Daktylitis fließen mit in die Therapieentscheidungen ein. Durch den Einsatz von standardisierten Scoring-Systemen – sei es für das Achsenskelett (Berlin-Score usw.) oder für periphere Gelenke (RAMRIS, PsAMRIS) – werden Untersuchungen immer besser vergleichbar, dies auch außerhalb von Studienprotokollen.

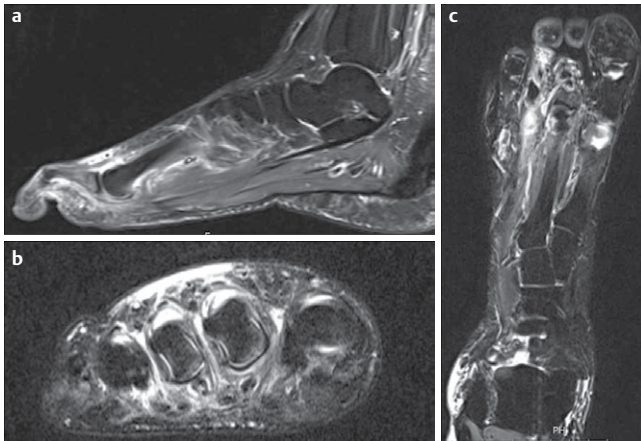
In der Folge sollen up-date Informationen und neue Techniken der MRT peripherer Gelenke vorgestellt werden.

## Die MRT peripherer Gelenke

Die MRT peripherer Gelenke ist heutzutage in der Lage detailliert und mit hoher Auflösung artikuläre, periartikuläre und intraossäre Strukturen abzubilden. Durch die verschiedenen Wichtungen ist es möglich o. g. Strukturen in bestmöglicher Qualität darzustellen. So kann die MRT sensitiv entzündliche Veränderungen rheumatischer Erkrankungen wie z. B. Synovialitis, Enthesitis oder das Kno-

chmarködem darstellen. Hierfür werden regelhaft fettunterdrückte T2-Sequenzen (z. B. short tau inversion recovery [STIR]) und kontrastmittelgestützte T1 Sequenzen verwendet (► **Abb. 1**). Neben den akut-entzündlichen Veränderungen können durch die im Vergleich zum konventionellen Röntgen 3-dimensionale Darstellung und die hohe Ortsauflösungen sehr früh erosive Veränderungen erkannt werden. Dies gelingt bereits 2–4 Monate nach Symptombeginn einer Arthritis zu einem Zeitpunkt, wo das Röntgenbild noch völlig unauffällig erscheint [5]. Darüber hinaus ist die MRT das einzige bildgebende Verfahren, welches in der Lage ist, das Knochenmarködem mittels spezifischer Wichtungen (z. B. STIR Sequenzen) zu erfassen. Viele Studien konnten belegen, dass das Knochenmarködem einen hohen prädiktiven Wert für die spätere Entstehung von Erosionen ausweist [6, 7]. Zur besseren Darstellung und Abgrenzung entzündlicher und erosiver Läsionen sollte ein Gadolinium-haltiges Kontrastmittel (KM) eingesetzt werden. Es ist zu erwähnen, dass grundsätzlich zyklische Verbindungen eingesetzt werden sollen, da insbesondere bei linearen Gadolinium-haltigen MRT-KM dosisabhängige zerebrale Ablagerungen beobachtet wurden, wobei deren Bedeutung noch gänzlich ungeklärt ist [8]. Darüber hinaus berichten einzelne Arbeiten diese Ablagerungen auch für die inzwischen regelhaft eingesetzt, zyklischen und damit deutlich stabileren MRT-KM [9]. Es bleibt abzuwarten, ob diese neuen Erkenntnisse eine neue Einordnung der MRT-KM bedingen werden.

Die MRT wird inzwischen auch immer öfter bei der Diagnostik der Psoriasis-Arthritis (PsoA) eingesetzt. Ähnlich wie bei der RA kann die MRT im Vergleich zum konventionellen Röntgenbild deutlich früher entzündliche Veränderungen wie die Enthesitis oder die Daktylitis und entzündlich knöchernen Abbau- oder Umbauprozesse darstellen. So kann die MRT gerade bei (noch) undifferenzierten



► **Abb. 2** 3-Tesla-Hochfeld MRT des rechten Fußes einer 39-jährigen Patientin mit Psoriasis-Arthritis und klinischem Nachweis einer Daktylitis des II und III Strahles. **a** STIR-Sequenz, sagittale Schnittführung mit dem Nachweis einer Arthritis mit periartikulärer Beteiligung und einer Daktylitis des II Strahls. **b** T2-gewichtet, fettgesättigt Sequenz, transversale Schnittführung mit einer Arthritis des II, III und IV MTP-Gelenkes, periartikuläre Mitbeteiligung sowie begleitende Beuge- und Strecksehnen Tenovaginitis. **c** STIR-Sequenz, coronare Schnittführung. Daktylitis des II und III Strahles mit periartikulärer Mitreaktion.

Arthritiden typische bildmorphologische Muster erkennen und so zur Diagnosesicherung beitragen [10]. Darüber hinaus ist sie in der Lage hochauflösend extra- und periartikuläre Beteiligungen, wie bspw. die Periarthritis und Enthesitis, welche in der klinischen Untersuchung bei diskretem Befund nicht immer sicher zu erfassen ist, abbilden [11]. Auch die DIP-Arthritis bei Nagelbeteiligung der PsoA – welche bisher isoliert auftreten in ihrem Ausmaß häufig unterschätzt wurde – rückt heute in den wissenschaftlichen Fokus. So konnten bspw. Scarpa et al. nachweisen, dass alle im MRT untersuchten PsoA-Patienten mit einer Nagelbeteiligung MR-morphologisch bereits Zeichen einer Arthritis der distalen Interphalangeal-Gelenke (DIP-Gelenke) aufwiesen [12]. Ebenfalls konnte durch die MRT die Pathogenese der Daktylitis bei PsoA deutlich besser verstanden werden [13] (► **Abb. 2**).

## Scoring-Systeme

Zur besseren Vergleichbarkeit von MRT Untersuchungen wurde seitens der OMERACT (Outcome Measures in Rheumatology) ein standardisiertes Scoring-System entwickelt und etabliert. Der RAMRIS (Rheumatoid Arthritis Magnetic Resonance Image Scoring System) ist ein semiquantitativer Score, welcher an den Metacarpophalangeal-Gelenken (MCP-Gelenke), den Handwurzelknochen sowie dem radiocarpalen und ulnocarpalen Übergang das Ausmaß von Synovialitis (0–3), dem Knochenmarködem (0–3) und von Erosionen (0–10) bei der rheumatoiden Arthritis bewertet [14, 15]. Der RAMRIS ist heute fester Bestandteil vieler Studienprotokolle bei der RA, welche die MRT verwenden.

Die Auswertung und das RAMRIS-Scoring ist allerdings sehr zeitaufwendig und daher nur für Studien sinnvoll, da insgesamt 23 Gelenkregionen nach oben genannten Kriterien bewertet werden müssen. Aus diesem Grund wurde ein auf fünf Gelenke reduzierter

RAMRIS-5 entwickelt und in Studien evaluiert. Es konnte gezeigt werden, dass sich zwischen dem RAMRIS-5 und dem traditionellen RAMRIS für alle Patienten ( $n = 94$ ) eine hohe Übereinstimmung ( $r = 0,88$ ,  $p < 0,05$ ) nachweisen ließ [16] und dies bei deutlich verkürzter Auswertungszeit.

Neben der Vereinfachung des RAMRIS-Scores wurde ebenfalls der Stellenwert der Tenosynovitis im MRT untersucht. So konnte gezeigt werden, dass durch ein dem RAMRIS entsprechendem Punktesystem (Grad 0–3) die Tenosynovitis der Beuge- und Strecksehnen der Hand mit großer Inter- und Intra-reader Reliabilität gescored werden kann und ggf. in zukünftigen Studienprotokollen als zusätzlicher Parameter verwendet und validiert werden könnte [17].

Ferne haben zahlreiche MRT-Studien bereits zeigen können, dass der Fuß in der Bewertung von Krankheitsaktivität und in der Erfassung von Frühveränderungen bei der RA nicht ausreichend berücksichtigt wird [18]. Aus diesem Grund wurde die Validität eines kombinierten Hand-Fuß-MRT Scores (HaF-Score) untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass Änderungen des HaF-Scores ( $\Delta$ HaF-score) signifikant mit Änderungen des DAS28 ( $\Delta$ DAS28) nach 6 Monaten korrelierten ( $r = 0,820$ , 95%-CI 0,633–0,916) und das der neue HaF-Score diese besser als der traditionelle RAMRIS allein erfasst (0,499, 0,139–0,743,  $p = 0,0368$ ). Bei allen Patienten, die gut oder moderat respondierten (nach EULAR-Response Kriterien [19]), konnte der HaF-Score trotz klinischen Response weiterhin entzündliche Aktivität und progressive Erosivität an den Füßen nachweisen [20].

Zur besseren Vergleichbarkeit von MRT Untersuchungen (klinisch und in Studienprotokollen) wurde dem RAMRIS angelehnt der PsAMRIS (Psoriatic Arthritis Magnetic Resonance Imaging Scoring System) für PsoA-Patienten entwickelt [21]. Neben den MCP und PIP-Gelenken wurden die häufig betroffenen distalen Interphalangeal-Gelenke (DIP-Gelenke) sowie die pathognomonische Enthesitiden und Tenovaginitiden in das Scoring System aufgenommen. Der PsAMRIS wird heute in zahlreichen MRT-Studien bei PsoA eingesetzt und evaluiert [22].

## Niederfeld-MRT

Untersuchungen im Hochfeld-MRT (1,5–3 Tesla) bieten durch die hohe Auflösung und die Vielzahl der möglichen Wichtungen viele Vorteile. Die Lagerung des Patienten ist durch den speziellen Aufbau der Magneten (mit Ausnahme der „offenen“ MR-Tomografen) allerdings unkomfortabel. Der Patient muss in der Regel in Bauchlage untersucht werden (sogenannte „Supermann-Position“). Die so nötige Positionierung ist insbesondere für ältere oder Patienten mit hochaktiver Arthritis häufig schwierig bzw. nicht möglich.

Mit der Entwicklung der Niederfeld-MR-Tomografen (NF-MRT) und Klein-MR-Tomografen können Patienten deutlich einfacher und komfortabler untersucht werden, wobei Klein-MR-Tomografen mit bis zu 1,5 Tesla betrieben werden können, deren Produktion zuletzt jedoch eingestellt wurde. NF-MRT operieren meist mit einem permanenten Hauptmagnetfeld ab 0,2 Tesla. Durch diese technischen Voraussetzungen stellt die NF-MRT deutlich weniger Voraussetzungen an den zur Verfügung stehenden Raum, wobei auch Anschaffungspreis dieser Geräte deutlich hinter den klassischen Hochfeld-MR-Tomografen liegt. Verschiedene Untersuchungen konnten zeigen, dass trotz im Vergleich zum Hochfeld-MRT niedrigerer Ortsauflösung mit der NF-MRT sehr gute und vergleichbare Untersuchungen

generiert werden können [23]. In Studien werden immer häufiger auch NF-MRT-Geräte eingesetzt, sei es bei der RA oder auch PsoA. So konnte gezeigt werden, dass das NF-MRT konkordant zum Hochfeld-MRT ein Therapieansprechen bildmorphologisch erfassen kann [24, 25]. Einschränkend zu erwähnen ist, dass NF-MRT bestimmte MRT-Sequenzen nicht ausreichend zu generieren vermag, insbesondere für die Erfassung des Knochenmarködems [23]. Aufgrund dieser Einschränkungen (insbesondere bei der schlechteren Auflösung) wird aktuell der Stellenwert der NF-MRT in den Gremien der EULAR und des ACR diskutiert, wobei noch keine allgemeingültige Position formuliert wurde.

## Innovative MRT-Sequenzen

In den letzten 5 Jahren haben neue MRT-Sequenzen den Anwendungs- und Indikationsbereich erweitert. Als Beispiel hierfür können neue Verfahren zur Darstellung des Gelenkknorpels an den MCP-Gelenken genannt werden. Die „Delayed gadolinium-enhanced MRI of cartilage“ (dGEMRIC)-Technik ist in der Lage Knorpelqualität, selbst an kleinen Gelenken wie den MCP-Gelenken, darzustellen. Hierfür wird die Ablagerung des Kontrastmittel Gadolinium [Gd(DTPA)<sub>2</sub>] beobachtet, welches sich umgekehrt proportional zum Glykosaminoglykangehalt (GAG) des Knorpels verhält. Niedrige dGEMRIC Signale korrelieren mit weniger GAG Gehalt des Knorpels [26]. Es konnte gezeigt werden, dass dies auch im Knorpel der MCP Gelenke gesunder dargestellt werden kann [27]. So korreliert das Ausmaß der entzündlichen Veränderungen des RAMRIS (für Synovialitis und Knochenmarködem) deutlich besser mit der Abnahme der Knorpelqualität als der Erosionsscore [28]. Es bleibt zu erwähnen, dass diese Technik nicht flächendeckend eingesetzt wird, da aufgrund nötiger technischer und baulicher Voraussetzungen der MR-Tomografen (Hochfeld-MRT wenn möglich mit spezieller Handspule und optimierten MRT-Sequenzen) die Durchführung der Untersuchung nicht an allen Zentren möglich ist.

Um das für die dGEMRIC Sequenzen notwendige Kontrastmittel einzusparen wird aktuell an der Erstellung von kontrastmittelfreien, knorpeldarstellenden MRT Sequenzen gearbeitet. So kann mit dem glycosaminoglycan chemical exchange saturation transfer (gagCEST) Verfahren ohne Kontrastmitteln direkt durch die Abbildung des lokalen Wassergehaltes die Qualität des Knorpels erkannt werden, wobei die Umsetzung bisher nur an der Wirbelsäule machbar war [29].

Neben Wasserstoff-Ionen, welche regelhaft in allen gängigen MRT Sequenzen angeregt werden, ist insbesondere für die muskuloskeletale Bildgebung auch die Anregung von Natrium-Ionen von großem Interesse. So sind bspw. GAG als Hauptbestandteil des Gelenkknorpels negativ geladen und binden das positiv geladene Natrium. Erste MRT-Studien konnten bereits den großen Nutzen der Technik zur Beurteilung des Gelenkknorpels nachweisen, wobei dies bisher nur an großen Gelenken (bspw. Knie) gelang [30, 31].

Als weitere MR-Technik ist die Weiterentwicklung und histologische Korrelation dynamischer MRT-Sequenzen zu nennen. Hierbei wird in kurzen zeitlichen Abständen das An- und Abfluten des Kontrastmittels im und um das Gelenk gemessen. Hochentzündliche Areale weisen eine deutlich gesteigerte lokale Durchblutung auf (konkordant zur Power-Doppler Untersuchung im Ultraschall). In ersten Arbeiten wurde eine gute Korrelation des Ausmaßes der

Inflammation (gemessen mittels dynamischer MRT) mit der lokalen Knorpelqualität beschrieben [32] und das die in den dynamischen MRT-Sequenzen darstellbare Inflammation mit dem histologischen Ausmaß der Entzündung korreliert [33].

## Hybride Bildgebende Verfahren

Hybride bildgebende Verfahren vereinigen 2 verschiedenen Techniken um Vorteile einzelner Verfahren zu kombinieren. So hat bspw. die Kombination aus der Positronen-Emissions-Tomografie (PET) und der Computertomografie (CT; PET-CT) bereits einen festen Platz im klinischen Algorithmus insbesondere bei onkologischen Fragestellungen (z. B. Staging) eingenommen. Hierbei wird die gute Ortsauflösung der CT mit der sehr hohen Sensitivität der PET kombiniert.

Auch in der Rheumatologie sind erste Untersuchungen mit hybriden bildgebenden Verfahren durchgeführt worden. So konnte gezeigt werden, dass durch die Kombination der PET mit der MRT (PET-MRT) die Sensitivität für die Detektion entzündlicher Läsionen bei der RA besser als im Einzelverfahren ist [34].

Auch die Kombination von multi-pinhole single-photon emission computed tomography (MPH-SPECT, hochauflösende Szintigrafie) mit der MRT konnte eine höhere Sensitivität für Veränderungen des Knochenmetabolismus bei entzündlichen Arthritiden aufweisen als die MRT allein [35]. Durch die Kombination der beiden Verfahren konnten frühe Knochen-Veränderungen der RA, welche prädiagnostisch für die Entstehung späterer ossärer Läsionen sind, erkannt werden.

Zusammenfassend scheint die serielle oder gleichzeitige Kombination von bildgebenden Verfahren aus Radiologie und Nuklearmedizin für die Rheumatologie neue Perspektiven bei der Früherkennung von Arthritis und deren Therapiekontrolle zu ermöglichen.

## Zusammenfassung

Die MRT peripherer Gelenke wird heute immer mehr auch im klinischen Alltag eingesetzt und unterliegt einem raschen wissenschaftlichen Fortschritt. Sie ist in der Lage hoch sensitiv entzündliche und erosive Areale zu erkennen. Darüber hinaus kann die MRT als einziges Verfahren das Knochenmarködem detektieren, welches prädiagnostisch für die Entstehung von Erosionen ist. Durch neue Scoring-Systeme (z. B. der RAMRIS) gelingt eine immer einfacherer (RAMRIS-5) erhobene, oft komplexe MRT-Befunde zu vergleichen. Neue Sequenzen (wie z. B. dGEMRIC) erkennen frühzeitig Knorpelveränderungen, welche mit dem lokalen Ausmaß der Inflammation korrelieren. Dynamische MRT-Sequenzen registrieren das An- und Abflut-Verhalten von Kontrastmittel und könnten zukünftig bei der Bewertung von Synovialitis zusätzliche Informationen liefern.

Als Rheumatologen sind wir gefordert Innovationen kritisch zu prüfen, ihren Mehrwert zu diskutieren und die Vorteile in die klinische Anwendung zu transferieren.

## Interessenkonflikt

Teile der vorgestellten Daten wurden im Rahmen des Projektes REMISSION-PLUS erhoben, welches durch Firmen AbbVie Deutschland GmbH & Co KG und Esaote Biomedica Deutschland GmbH unterstützt wurde.

## Literatur

- [1] Colebatch AN, Edwards CJ, Østergaard M et al. EULAR recommendations for the use of imaging of the joints in the clinical management of rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2013; 72: 804–814
- [2] Filippucci E, Di Geso L, Grassi W. Progress in imaging in rheumatology. *Nature Reviews. Rheumatology* 2014; 10: 628–634
- [3] Braun J, van Berg Rd Baraliakos X et al. 2010 update of the ASAS/EULAR recommendations for the management of ankylosing spondylitis. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2011; 70: 896–904
- [4] Poggenborg RP, Sørensen IJ, Pedersen SJ et al. Magnetic resonance imaging for diagnosing, monitoring and prognostication in psoriatic arthritis. *Clinical and Experimental Rheumatology* 2015; 33: S66–S69
- [5] Baker JF, Ostergaard M, Emery P et al. Early MRI measures independently predict 1-year and 2-year radiographic progression in rheumatoid arthritis: secondary analysis from a large clinical trial. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2013
- [6] McQueen FM, Ostendorf B. What is MRI bone oedema in rheumatoid arthritis and why does it matter? *Arthritis Research & Therapy* 2006; 8: 222
- [7] Gandjbakhch F, Foltz V, Mallet A et al. Bone marrow oedema predicts structural progression in a 1-year follow-up of 85 patients with RA in remission or with low disease activity with low-field MRI. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2011; 70: 2159–2162
- [8] Frenzel T, Lengsfeld P, Schirmer H et al. Stability of gadolinium-based magnetic resonance imaging contrast agents in human serum at 37 degrees C. *Investigative radiology* 2008; 43: 817–828
- [9] Radbruch A, Weberling LD, Kieslich PJ et al. Gadolinium retention in the dentate nucleus and globus pallidus is dependent on the class of contrast agent. *Radiology* 2015; 275: 783–791
- [10] Cimmino MA, Parodi M, Innocenti S et al. Dynamic magnetic resonance of the wrist in psoriatic arthritis reveals imaging patterns similar to those of rheumatoid arthritis. *Arthritis Research & Therapy* 2005; 7: R725–R731
- [11] Poggenborg RP, Østergaard M, Terslev L. Imaging in Psoriatic Arthritis. *Rheumatic diseases clinics of North America* 2015; 41: 593–613
- [12] Scarpa R, Soscia E, Peluso R et al. Nail and distal interphalangeal joint in psoriatic arthritis. *The Journal of rheumatology* 2006; 33: 1315–1319
- [13] Tan AL, Fukuba E, Halliday NA et al. High-resolution MRI assessment of dactylitis in psoriatic arthritis shows flexor tendon pulley and sheath-related enthesitis. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2014
- [14] Østergaard M, Peterfy C, Conaghan P et al. OMERACT Rheumatoid Arthritis Magnetic Resonance Imaging Studies. Core set of MRI acquisitions, joint pathology definitions, and the OMERACT RA-MRI scoring system. *The Journal of rheumatology* 2003; 30: 1385–1386
- [15] Ostergaard M, Conaghan PG, O'Connor P et al. Reducing invasiveness, duration, and cost of magnetic resonance imaging in rheumatoid arthritis by omitting intravenous contrast injection – Does it change the assessment of inflammatory and destructive joint changes by the OMERACT RAMRIS? *The Journal of rheumatology* 2009; 36: 1806–1810
- [16] Schleich C, Buchbender C, Sewerin P et al. Evaluation of a simplified version of the Rheumatoid Arthritis Magnetic Resonance Imaging Score (RAMRIS) comprising 5 joints (RAMRIS5). *Clinical and Experimental Rheumatology* 2015
- [17] Haavardsholm EA, Østergaard M, Ejlberg BJ et al. Introduction of a novel magnetic resonance imaging tenosynovitis score for rheumatoid arthritis: reliability in a multireader longitudinal study. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2007; 66: 1216–1220
- [18] Ostendorf B, Scherer A, Mödder U et al. Diagnostic value of magnetic resonance imaging of the forefeet in early rheumatoid arthritis when findings on imaging of the metacarpophalangeal joints of the hands remain normal. *Arthritis and rheumatism* 2004; 50: 2094–2102
- [19] Karonitsch T, Aletaha D, Boers M et al. Methods of deriving EULAR/ACR recommendations on reporting disease activity in clinical trials of patients with rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2008; 67: 1365–1373
- [20] Sewerin P, Buchbender C, Vordenbäumen S et al. Advantages of a combined rheumatoid arthritis magnetic resonance imaging score (RAMRIS) for hand and feet: Does the RAMRIS of the hand alone underestimate disease activity and progression? *BMC musculoskeletal disorders* 2014; 15: 104
- [21] Ostergaard M, McQueen F, Wiell C et al. The OMERACT psoriatic arthritis magnetic resonance imaging scoring system (PsAMRIS): definitions of key pathologies, suggested MRI sequences, and preliminary scoring system for PsA Hands. *The Journal of rheumatology* 2009; 36: 1816–1824
- [22] Glinatsi D, Bird P, Gandjbakhch F et al. Validation of the OMERACT Psoriatic Arthritis Magnetic Resonance Imaging Score (PsAMRIS) for the Hand and Foot in a Randomized Placebo-controlled Trial. *The Journal of rheumatology* 2015; 42: 2473–2479
- [23] Ejlberg BJ, Narvestad E, Jacobsen S et al. Optimised, low cost, low field dedicated extremity MRI is highly specific and sensitive for synovitis and bone erosions in rheumatoid arthritis wrist and finger joints: comparison with conventional high field MRI and radiography. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2005; 64: 1280–1287
- [24] Hirota T, Suzuki T, Ogishima H et al. Evaluation of changes in magnetic resonance images following 24 and 52 weeks of treatment of rheumatoid arthritis with infliximab, tocilizumab, or abatacept. *Modern Rheumatology/the Japan Rheumatism Association* 2016; 26: 29–35
- [25] Feletar M, Hall S, Bird P. Evaluation of Magnetic Resonance Imaging Responsiveness in Active Psoriatic Arthritis at Multiple Timepoints during the First 12 Weeks of Antitumor Necrosis Factor Therapy. *The Journal of rheumatology* 2016; 43: 75–80
- [26] Bashir A, Gray ML, Boutin RD et al. Glycosaminoglycan in articular cartilage: in vivo assessment with delayed Gd(DTPA)(2-)-enhanced MR imaging. *Radiology* 1997; 205: 551–558
- [27] Buchbender C, Scherer A, Kröpil P et al. Cartilage quality in rheumatoid arthritis: comparison of T2\* mapping, native T1 mapping, dGEMRIC, ΔR1 and value of pre-contrast imaging. *Skeletal Radiology* 2012; 41: 685–692
- [28] Herz B, Albrecht A, Englbrecht M et al. Osteitis and synovitis, but not bone erosion, is associated with proteoglycan loss and microstructure damage in the cartilage of patients with rheumatoid arthritis. *Annals of the Rheumatic Diseases* 2014; 73: 1101–1106
- [29] Schleich C, Müller-Lutz A, Matuschke F et al. Glycosaminoglycan chemical exchange saturation transfer of lumbar intervertebral discs in patients with spondyloarthritis. *Journal of magnetic resonance imaging: JMIR* 2015
- [30] Guermazi A, Alizai H, Crema MD et al. Compositional MRI techniques for evaluation of cartilage degeneration in osteoarthritis. *Osteoarthritis and cartilage/OARS, Osteoarthritis Research Society* 2015; 23: 1639–1653
- [31] Madelin G, Regatte RR. Biomedical applications of sodium MRI in vivo. *Journal of magnetic resonance imaging: JMIR* 2013; 38: 511–529
- [32] Müller-Lutz A, Schleich C, Sewerin P et al. Comparison of Quantitative and Semiquantitative Dynamic Contrast-Enhanced MRI With Respect to Their Correlation to Delayed Gadolinium-Enhanced MRI of the Cartilage in Patients With Early Rheumatoid Arthritis. *Journal of Computer Assisted Tomography* 2014
- [33] Vordenbäumen S, Schleich C, Lögters T et al. Dynamic contrast-enhanced magnetic resonance imaging of metacarpophalangeal joints reflects histological signs of synovitis in rheumatoid arthritis. *Arthritis Research & Therapy* 2014; 16: 452
- [34] Miese F, Scherer A, Ostendorf B et al. Hybrid 18F-FDG PET-MRI of the hand in rheumatoid arthritis: initial results. *Clinical rheumatology* 2011; 30: 1247–1250
- [35] Buchbender C, Sewerin P, Mattes-György K et al. Utility of combined high-resolution bone SPECT and MRI for the identification of rheumatoid arthritis patients with high-risk for erosive progression. *European journal of radiology* 2013; 82: 374–379