

Kardiovaskuläre MRT – Update

T. Störk¹; H. Eichstädt²

¹ CardioPraxis Staufen, Göppingen; ² Med. Klinik m. S. Kardiologie, Charité, Berlin

Schlüsselwörter

Kernspintomographie des Herzens, kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie, Imagingdiagnostik, Gadolinium, Myokardischämie, Stress-Untersuchung, Perfusion

Zusammenfassung

Die kardiale MRT (CMR) gewinnt als komplementäres Verfahren in der kardiologischen Diagnostik zunehmend an Bedeutung. Dies gilt insbesondere für die Analyse der Ventrikelfunktion, aber auch für die Diagnostik angeborener Herzfehler, kardialer Raumforderungen und Myopathien. Auf dem Gebiet der KHK sind Vitalitäts- und Ischämiediagnostik zu nennen. Die vorliegende Übersicht stellt die aktuellen Indikationen und Möglichkeiten des CMR vor.

Keywords

Magnetic resonance of the heart, cardiovascular MR tomography, diagnostic imaging, myocardial imaging, gadolinium, myocardial ischemia, stress testing, perfusion

Summary

Cardiac MR (CMR) imaging is, as a complementary method, of increasing importance in the cardiologic diagnostic field. This is true in particular for the analysis of ventricular function, as well as for the diagnosis of congenital heart disease, cardiac tumours and cardiomyopathies. The present review focuses on the actual indications and possibilities of CMR.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Thomas Störk
CardioPraxis Staufen
Poststr. 25–27
73033 Göppingen
Tel.: 0 71 61 / 6 80–15
Fax: 0 71 61 / 96 85 83
E-Mail: thomas.stoerk@cardiopraxis-staufen.de
Web: www.cardiopraxis-staufen.de

Cardiovascular MRT – update Med Welt 2010; 61: 116–120

Aktuelle Verbreitung und Entwicklung der Methode

Verbreitung von Großgeräten

Die rasante Verbreitung der Schnittbild-techniken hat zum weiteren Rückgang der konventionellen Röntgenanforderungen, gerade auch in der Kardiologie, geführt. Bis Ende 2009 waren in Deutschland zirka 1800 Kernspintomographen installiert und monatlich erfolgen Neuaufstellungen. In Japan waren bis Ende 2003 bei 128 Mio. Einwohnern mehr als 4500 Geräte installiert, weltweit mehr als 22000. Inzwischen wurden zirka 800 Millionen Menschen kernspintomographisch untersucht und jährlich kommen >60 Mio. Untersuchungen hinzu.

Es wird bei uns eine dreistellige Zahl von Radiologenpraxen angenommen, die mindestens 3 oder mehr Kernspintomographen betreiben, das Gleiche gilt für große Krankenhäuser. Als Hersteller sind die Firmen Bruker, Esaote, Elscint, Fonar, General Electric, Hitachi, Marconi (Picker), Philips, Siemens, Toshiba und Varian vertreten.

Entwicklung der Methode – der Feldstärkenhype

Die Feldstärken reichen von 0,2 Tesla bis 4,0 Tesla für klinische Fragestellungen. In 2004 ging der erste Ganzkörperpantomograph mit einem Ultrahochfeld von 7,0 Tesla in Betrieb (vorwiegend für neurobiologische

Fragestellungen), dies entspricht immerhin dem 140 000-fachen des Erdmagnetfeldes (50 Mikrottesla). Weitere Anlagen mit 9,4 und 11,7 Tesla für den Einsatz am Menschen folgten. In der Kardiologie sind, neben dem Standard der 1,5 Tesla-Geräte, inzwischen auch eine Reihe von 3,0 Tesla-MR-Tomographen im klinischen Routinebetrieb.

Das ist aber keineswegs das Ende der Realisation großer Feldstärken. Schon heute sind in der physikalischen Forschung kommerzielle supraleitende Spulen mit mehr als 20 Tesla starken statischen Feldern üblich. Wenn nicht statische Felder gehalten werden, sondern gepulste Felder, dann lassen sich mit 10 ms-Pulsen heute bereits Magnetfelder bis 100 Tesla aufbauen (Los Alamos und Tallahassee, USA, Toulouse und Grenoble, Frankreich, oder Tsukuba, Japan). Die erste 100-Tesla-Anlage in Deutschland wurde ab 2003 in Dresden-Rossendorf (FZR) errichtet und arbeitet seit 2006.

Neue Techniken

Nicht nur höhere Feldstärken zur (linearen) Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses (SNR) und des Auflösungsvermögens in nur noch 1 mm³ großen Volumeneinheiten des menschlichen Körpers werden entwickelt, sondern auch zum Beispiel die technisch höchst anspruchsvolle Kombination vorhandener Technologien. So sind nun die ersten MR-PET-Geräte in Betrieb gegangen (University of Tennessee, seit 2007 auch in Deutschland).

Im Bereich der Spulen wurde der gleichzeitige Einsatz einer Vielzahl von Signalempfangsspulen entwickelt, womit ein Teil der für die Bildkodierung notwendigen sequenziellen Schritte eingespart werden kann, was die MR-Messzeit für die Aufnahme der Koronarien um den Faktor 3 beschleunigen kann. Oberhalb des Beschleunigungsfaktors 4 wird die Rauschverstärkung des Bildes wiederum zu groß. Bei dy-

namischer Bildgebung zeitlicher Bildsequenzen kann eine weitere Beschleunigung der Aufnahmen erzielt werden. Vertreter solcher Aufnahmesequenzen sind zum Beispiel k-t BLAST und k-t SENSE, worunter zeitlich aufgelöste 3D-Aufnahmen des Herzens mit voller Abdeckung innerhalb von 15–18 Sekunden möglich sind. Perfusionsmessungen können bei einer Auflösung von 1 mm innerhalb eines Aufnahmezeitfensters von 100 ms erfolgen. Weitere technische Neuerungen sind kontinuierliche Tischvorschub-Systeme anstelle des bisherigen Stop-and-go-Verfahrens.

Kontrastmittelforschung

Seit dem Jahre 2006 wurden bei Nachuntersuchungen nach Gadoliniumanwendung fast 600 Fälle einer systemischen, sklerodermieartigen Fibroseerkrankung registriert, die sich bei Patienten mit eingeschränkter Niereninsuffizienz manifestierte. Dieses Syndrom wird als „Nephrogene Systemische Fibrose“ (NSF) bezeichnet. Nach der Risikoinformation zur Anwendung Gadolinium-haltiger MRT-Kontrastmittel durch das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) darf Gadodiamid nicht bei Nierenfunktionsstörungen und vor oder nach Lebertransplantationen eingesetzt werden.

Da der betreffenden Untersuchungsmethode ein Magnetprinzip zu Grunde liegt, kann man nach derzeitigen Vorstellungen schwerlich auf nichtmetallische Kontrastprinzipien ausweichen. Denn als Kontrastmittel für die Kernspintomographie sind zunächst einmal alle Stoffe geeignet, die über ihre magnetischen Eigenschaften, also über die Generierung von Störfeldern, zu einer Verkürzung sowohl der Spin-Gitter-Relaxationszeit T1 als auch der Spin-Spin-Relaxationszeit T2 in der Lage sind, ohne eigene Signale zu erzeugen. Somit kann man derzeit zwei Klassen von Kernspin-Kontrastmitteln unterscheiden, nämlich die Negativkontrastmittel, welche T2-gewichtete Signale reduzieren und die Positivkontrastmittel, welche T1-gewichtete Signale anheben. Als T2-Kontrastmittel sind heute Eisenoxid-Nanopartikel, superparamagnetische Eisenoxide (SPIO, um 80–150 nm), sehr

kleine paramagnetische Eisenoxide (VSPIO, um 60 nm) oder ultrakleine superparamagnetische Eisenoxide (USPIO, 20–40 nm) bekannt. Diese Partikel bestehen aus einem kristallinen Eisenoxidkern, der von einem Polymer ummantelt ist. T1-Kontrastmittel sind Verbindungen niedrigen Molekulargewichts, die ein Seltenerden-Chelat als Kontrastgebendes Element nutzen. Heute werden verschiedenste Labeling-Konzepte bereits angewendet bzw. noch überprüft, wie Gadolinium-beladene Liposomen oder Polymere. Hierher gehören auch Gadofluorine M bzw. Fluorine-19 in Verbindung mit Turboflash-Sequenzen, Tyramido-DOTA (Gd) in Verbindung zu Peroxidase oder Carbohydrat-modifizierten Gadolinium-Chelaten.

Hierauf wird man bei spezifischen Bildgebungsmechanismen nicht verzichten können, sodass Patienten mit gestörter Nierenfunktion bei reduzierter Aussagekraft ohne Kontrastmittel untersucht werden müssen. Auch die CEST- und para-CEST-Kontrastmittel (chemical exchange Saturation transfer), mit denen spezifische Metaboliten (z. B. LIPOCEST) detektiert werden können, befinden sich in Laborprüfungen. Welche Gadoliniumuntersuchungen hierdurch ersetzt werden könnten, ist noch nicht sicher zu übersehen.

Aktuell etablierte Indikationen

Die bisherigen Untersuchungsmodalitäten der Kernspintomographie haben sich in den vergangenen Jahren nur wenig geändert: Im heutigen Untersuchungsalltag werden die Patienten mit Klebeelektroden, EKG-Ableitungen, Blutdruckregistrierung sowie je nach Untersuchungsplanung mit intravenösem Zugang versorgt. Optional stehen Kontrastmittel oder Stresspharmaka zur Verfügung. Optimierte Antennen bzw. Spulen werden bereitgestellt.

Zunächst wird die Scoutmessung (Survey) als Übersicht durchgeführt, die doppelte Angulierung wird nach den individuellen Herzachsen vorbereitet. Die geplanten kurzen und langen Achsen lassen Morphologie und Funktion im Cine-Mode darstellen. Für die individuelle Fragestellung folgen sodann speziellere Maßnahmen.

Angeborene Herz- und Gefäßmissbildungen

Angeborene Herzfehler

Kaum auf einem anderen Gebiet der Herzmedizin haben sich die enormen Vorteile der MR-Untersuchung so rasch manifestiert, wie bei angeborenen Herzerkrankungen. Die Darstellung in mehreren Schnittebenen, gerade des rechten Herzens, gelingt mit anderen Methoden weit weniger gut, zumal auch Flussmessungen durchgeführt werden können und auf hämodynamische Daten geschlossen werden kann und dies ohne Strahlenexposition geschieht.

Sedierung und hämodynamisches Monitoring können gelegentlich eine gewisse Einschränkung darstellen. Welche Abhilfe hier die erheblich beschleunigenden Aufnahmetechniken k-t BLAST mit einer einzelnen Empfangsspule oder k-t SENSE mit Daten von mehreren parallelen Empfangsspulen bieten könnten, muss sich noch herausstellen. Die aushilfsweise Echokardiographie kann als orientierende Alternative eingesetzt werden, vermag aber nicht die Darstellung mehrerer Schnittebenen zu ersetzen. Dies gilt auch für Erwachsene mit angeborenen Herzfehlern, bei denen die Echokardiographie oft schon wegen bestehender Voroperationen an Darstellungsgrenzen stößt. Die große Präzision der MR-Darstellung in mehreren Ebenen kann in einigen Fällen auch das nachfolgende invasive, sowohl diagnostische als auch therapeutische Vorgehen beschleunigen. Bei entsprechenden Herzfehlern können Regurgitationsfraktionen und Flüsse mit Geschwindigkeit und Volumen ermittelt werden.

Die Gabe von Kontrastmitteln, immer noch vorrangig Gadolinium, ist gerade bei komplizierteren Fehlbildungen der großen intrathorakalen Gefäße weiterhin hilfreich. Bei der Abklärung der Myokardperfusion und der Vitalität haben die Perfusionssequenzen bei MR-Firstpass- und Inversionsuntersuchungen bei weitem noch nicht die hohe Präzision ausgefilterter nuklearkardiologischer Techniken erreicht, sparen aber wiederum die Exposition mit Gammastrahlung ein.

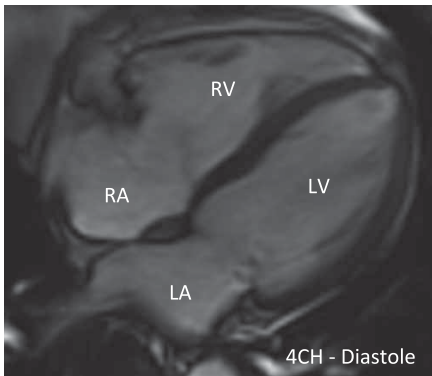


Abb. 1 4-Kammerblick (4CH) in Diastole

Gefäßmissbildungen

Bei Koronaraneurysmen, die in Verbindung mit komplexen Herzfehlern in bis zu einem Drittel der Fälle auftreten, erfolgt die morphologische Darstellung üblicherweise in zwei Ebenen, die Gradientenecho-Sequenzen wie auch die Turbo-Spinecho-Sequenzen erlauben Weiß- oder auch Schwarzdarstellung des Bluts. Die Steady-state-free-precession-Sequenzen (SSFP) und Turbo-Gradientenecho-Sequenzen liefern funktionelle Aussagen zu den einzelnen Herzhöhlen. Die dreidimensionale MR-Angiographie erworbener Gefäßkrankheiten wird unter intravenöser Gadoliniumapplikation durchgeführt. Plaquebildungen, Thromben und Vaskulitiden können mittels Protonendichtesequenzen, T1-, T2- und Fettsättigung zur Anhebung des Weichteil-/Gewebekontrasts durchgeführt werden. Auch hier können wieder Volumina und Geschwindigkeiten und der gesamte Gefäßverlauf erfasst werden, was einen

entscheidenden Vorteil gegenüber Schalluntersuchungen darstellt.

Klappenvitien

Die rasche Verfügbarkeit und Schnelligkeit einer echokardiographischen Untersuchung haben die Methode seit langen Jahren zum Verfahren der ersten Wahl bei der Diagnostik von Klappenfehlern und deren Verlaufskontrollen gemacht. Die Kernspintomographie spielt eine nachrangige Rolle und ist eher wichtig bei der Beurteilung der Umgebungsstrukturen, wie beispielsweise weiterer Verlauf der großen Gefäße u. ä. Die Struktur der Aortenklappe kann gelegentlich transversal anguliert gut dargestellt werden, Regurgitationen und Flussphänomene lassen sich mit Turbo-Gradienten-Echo- oder SSFP-Sequenzen aufzeigen, die Kombination aus Bestimmung der Schlagvolumina und Flussmessungen, sowie Messungen des Regurgitationsvolumens erlaubt eine Quantifizierung auch kombinierter Vitien. Grundsätzlich sind Vitien auch nach prothetischem Klappenersatz mittels MR untersuchbar, da es ferromagnetische Materialien in Prothesen praktisch nicht mehr gibt. Zu lokalen Artefakten kann es selbst bei Spin-Echo-Aufnahmen kommen, hierbei sind auch die Sternalcerclagen nicht unerheblich.

Koronare Herzkrankheit

Bei Verdacht auf eine chronische Koronar-erkrankung kann mittels MR sowohl eine

direkte Darstellung der Herzkranzgefäße erfolgen, als auch das Erfassen der Konsequenzen eingeschränkter Koronardurchblutung am Erfolgsorgan des Myokards. Hierbei können die regionale und globale Myokardperfusion sichtbar gemacht werden, aber auch die Auswirkung auf die ventrikuläre Wandbewegung. Auch postinterventionelle Untersuchungen sind bei Stentimplantationen schadlos möglich. Bei akuten Koronarsyndromen und akuten Infarkten wurden ebenfalls vereinzelt MR-Studien durchgeführt, die Methode steht aber hierbei wegen der anderen klinischen Notwendigkeiten im Hintergrund.

Ventrikelmorphologie und -funktion

Das Myokard beider Ventrikel und die umschlossenen Volumina lassen sich exakt und gut reproduzierbar quantifizieren (▶Abb. 1 und 2). Dies gelingt heute mit hoher zeitlicher Auflösung durch Turbo-Gradienten-Echo- oder SSFP-Cine-Sequenzen, was auch zu Verlaufskontrollen unter medikamentöser oder nach operativer Therapie wertvoll sein kann.

Ventrikuläre Wandbewegung bei Belastung

Frühere Versuche mit hölzernen Treteinheiten im Kernspintomographen haben sich nicht bewährt. Heute werden im Rahmen von Belastungsuntersuchungen in der MRT meist stressinduzierende Pharmaka verwendet. Zur Erzeugung von Wandbewegungsstörungen wird überwiegend Dobutamin eingesetzt, welches sowohl der früher verwendeten Steal-Substanz Dipyridamol als auch dem Adenosin vorgezogen wird. Die Protokolle wurden gemäß der Dobutamin-Stress-Echokardiographie angelegt: Nach jeder Belastungsstufe werden über kurze Apnoephasen je drei Längs- und drei Kurzachsen mit SSFP-Cine- oder Turbo-Gradienten-Echo-Aufnahmen dargestellt. Daraus wird dann die regionale Ventrikelwandbewegung vor und nach Dobutamin-Stress beurteilt, und zwar in den meisten Zentren qualitativ visuell. Trotz methodenimmanenter Grenzen wird eine

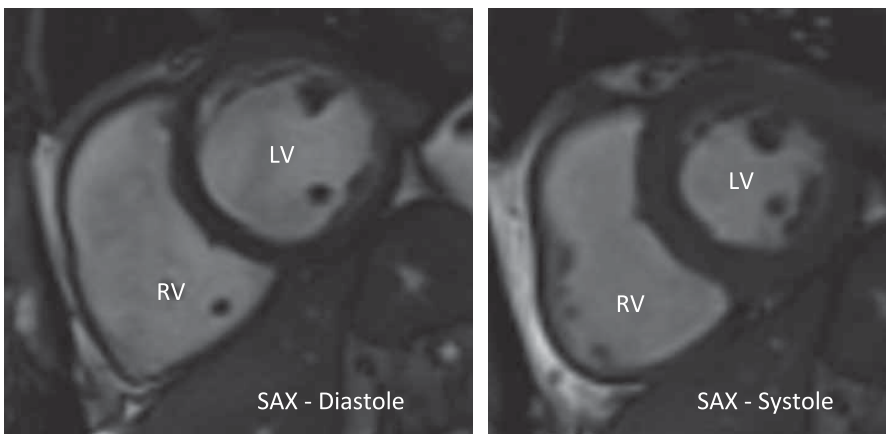


Abb. 2 Kurze Achse (SAX) in Diastole (links) und Systole(rechts)

diagnostische Genauigkeit von 80–85% beschrieben, was der Stress-Echokardiographie schon sehr nahe kommt.

Sicher stellt es aber einen Nachteil für den besorgten Kardiologen dar, dass während der Dobutamin-Stresserzeugung im MR das EKG nicht sicher beurteilbar ist, während dies bei der gleichen Untersuchung mittels Echokardiographie immerhin möglich ist. Zum Überwachen bleibt ein EKG-Rhythmusstreifen, kurzfristige Blutdruckmessungen und die wenig aussagefähige Pulsoxymetrie.

Darstellung der myokardialen Perfusion

Durch schnell arbeitende und starke Gradientenfelder ist eine rasche Darstellung des linken Ventrikels in kurzen und langen Achsen zur MR-Diagnostik der Myokardperfusion möglich. Gadolinium in Dosierungen von 0,03 bis 0,1 mmol/kg KG wird als intravenöser Bolus über eine Hochdruckspritze intravenös mit einer Injektionsgeschwindigkeit von 4–5 ml/s injiziert. Während der Apnoephase des Patienten wird der Bolus des Kontrastmittels je Herzaktion einmal in jeder Schnittebene dargestellt.

Die Stressinduktion wird durch 140 µg/kg KG/min Adenosin für zirka 5 min erreicht, worunter dann die Perfusionsverteilung semiquantitativ oder quantitativ gemessen wird, wie auch etwa 15 min später unter Ruhebedingungen. Signal-hypointense Areale werden als hypoperfundiert angenommen, während bei früher anreichernden Segmenten eine normale Perfusion unterstellt werden kann. Zeigt sich ein vermindert anreicherndes Segment, wird zur Narbenabgrenzung zusätzlich das „late enhancement“ gemessen.

Darstellung der Koronarien

Die Koronardarstellung muss an einem Organ erfolgen, welches sich während der Darstellung erstens durch die Herzkontraktionen permanent aktiv bewegt und welches zweitens von extern durch die Atembewegungen auch noch passiv verschoben wird. Drittens vollführen die Ko-

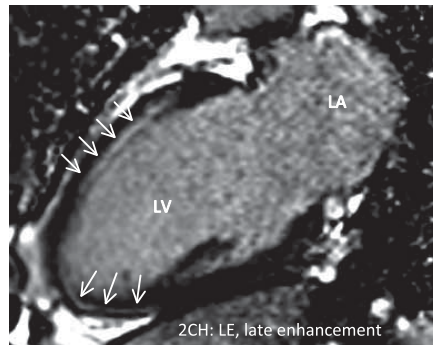


Abb. 3 2-Kammerblick (2CH) mit (nicht-)transmuraler Narbe im antero-septalen (4 Pfeile) und infero-apikalen Segment (3 Pfeile) im ‚late enhancement‘ (LE)

ronarien auf Grund ihrer zyklischen Durchblutung auch noch systolisch-diastolische Kaliber- und Kontrastschwankungen. Dieses komplexe Bewegungsmuster in Raum- und Zeitkoordinaten unterscheidet die Koronardarstellung prinzipiell von der peripheren MR-Angiographie und stellt hohe Anforderungen an die Methodik eines zeitlich langsam auflösenden Einzelbildverfahrens.

MR nach Myokardinfarkten – ‚late enhancement‘

Schon vor mehr als 25 Jahren wurde über die Anwendung des damals nicht allgemein verfügbaren, noch in Entwicklung befindlichen Gadoliniums an Patienten mit subakuten bis chronischen Infarktstadien vom fünften postinfarziellen Tag bis zu mehr als drei Wochen nach Infarkt berichtet. Mit der

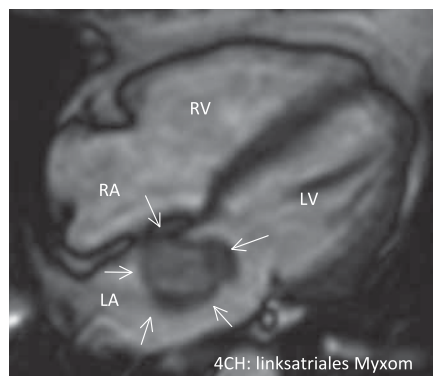


Abb. 4 4-Kammerblick (4CH) mit linksatrialem Myxom (Pfeile)

auch heute noch identischen Dosis von zirka 0,1 mmol/kg KG, entsprechend 0,4 ml/kg KG, des extrazellulären Kontrastmittels Gadolinium-DTPA wird die Darstellung durch Anwendung einer Inversion-Recovery-Sequenz erzeugt. Das Myokardsignal wird über die Inversionszeit genullt, damit ein gleichmäßig dunkles Signal resultiert. Das Gadolinium verteilt sich über die neuen, afferenten Kapillarsprossungen rasch in dem frischen, postinfarziellen Granulationsgewebe. Efferente Kapillaren sind initial nicht vorhanden, sodass es zur Akkumulation mit Positivkontrast (late enhancement) kommt. Im chronischen Stadium spielt vermehrt das vergrößerte Interstitium eine Rolle. Durch das gute räumliche Auflösungsvermögen kann die MR-Darstellung heute besser zwischen nicht-transmuralem (►Abb. 3) und transmuralen Infarkten unterscheiden.

Kardiomyopathien

Wie alle morphologischen Veränderungen, so lassen sich auch alle Formen der Kardiomyopathien durch die MR-Technik schon seit Beginn ihrer klinischen Einführung hervorragend darstellen.

Hypertrophische Kardiomyopathie

Wie mit der Echokardiographie, so kann auch mit der MR-Technik die apikale, basale oder globale ventrikuläre Lokalisation der Hypertrophie dargestellt werden, wie auch das Einbegreifen der mitralen Bewegungsabläufe. Wie vorstehend bei den koronarbedingten Fibrosen geschildert, können hier auch hypertrophie- und kompressionsbedingte Fibrosen mit der Late-enhancement-Technik dargestellt werden.

Seit vielen Jahrzehnten ist die Arrhythmogenität myokardialer Fibroseareale bekannt und die mit der zunehmenden Fibrosierung einhergehende Einschränkung der Pumpleistung. Der Fibroseanteil kann nun auch mit MR-Technik verdeutlicht werden. Das gilt auch für die Darstellung der Fibrose nach transkoronarer Ablation der Septumhypertrophie (TASH), die trotz Beeinträchtigung des infrahissären Reizleitungssystems und nicht überzeugender

Langzeitresultate gelegentlich in Ermangelung echter therapeutischer Alternativen durchgeführt wird. Seltene Entitäten wie die Non-Compaction-Kardiomyopathie lassen sich gut darstellen, ihre klinische Bedeutung ist jedoch unklar.

Dilatative Myokardveränderungen

Links- und rechtsventrikuläre Dilatationen lassen sich mit MR gut erfassen und verlässlich quantifizieren. Eine pathogenetische Unterscheidung in exzentrische Hypertrophie beim dekompensierten Hypertonieherzen, oder postinfarzielle regionale Dysfunktionen beim Infarktherzen gelingt auch echokardiographisch gut. Mittels MR lässt die fleckige Anreicherung subepikardialer Rundherde eine postmyokarditische Ventrikeldilatation gut von der blanden Dilatation der idiopathischen dilatativen Kardiomyopathie unterscheiden, die nur in der Minderzahl der Fälle mit vereinzelt Fibrosierungen einhergeht.

Anfang der 1990er-Jahre wurde erstmals über MR-Untersuchungen bei der seltenen arrhythmogenen rechtsventrikulären Kardiomyopathie berichtet. Wegen der geringen Zahlen soll hier keine weitere Besprechung erfolgen, obschon das Krankheitsbild heute bei der enormen MR-Verbreitung im Zusammenhang mit elektrophysiologischen Maßnahmen eine gewisse Renaissance erfährt.

Restriktion

Restriktive Myokardveränderungen, zum Beispiel auf Grund einer Amyloidose sind selten und bleiben auch nach versuchter Definition von MR-Kriterien oft Vermutung. Demgegenüber lässt sich vermehrte Eisenspeicherung bei den seltenen angeborenen Anämien gut nachweisen. Die kardiale Mitbeteiligung im Rahmen von Sarkoidosen lässt Signalvermehrungen erkennen.

Herztumoren

Herztumoren (►Abb. 4), insbesondere maligne Neoplasmen sind extrem selten,

Sequenzen häufig anfallender Untersuchungen

- Orientierungssequenz (Survey, Scout), meist ultraschnell wie TrueFISP und Single shot HASTE (half-Fourier acquisition single-shot turbo spin echo)
- Anatomische Strukturdarstellung über T1-gewichtete Spin-Echo Turbosequenz
- Funktionsstudien mit zyklusadaptierten Phasen über segmentierte Cine-Gradientenecho-Sequenz (Cine-GRE [TrueFISP, Balanced FFE, FIESTA])
- Perfusionsstudien mit „saturation recovery“-Gradientenecho-Sequenz (SR-GRE)
- Infarkt und Vitalität mit „inversion recovery“-Gradientenecho-Sequenz (IR-GRE)
- Flussquantifizierung mittels Phasenkontrast-Angiographie (PC-2D-MRA)
- Tumordarstellung mit Vorschaltung spektraler Fettsättigungspulse (CE-T1-TSE-FS) für Kontrastmittel-gestützte T1-TSE
- Ödemdarstellung mittels STIR (Short-Tau Inversion Recovery) über starke T2-Wichtung
- Angiographie mit Kontrastmittel, in zeitlicher und räumlicher Auflösung verbessert durch CE-3D-MRA

Fazit für die Praxis

Neuere technische Entwicklungen haben noch keinen Einfluss auf den etablierten Indikationskatalog der kardialen Kernspintomographie. Bei komplexen Morphologien hat die Kernspintomographie eine führende diagnostische Position inne. Auch die Perfusionsuntersuchung durch Stealprovokation mittels Adenosin und die Wandbewegungsanalyse unter Dobutamin oder Arbutamin werden inzwischen häufiger angewendet, ohne bisher einen festen Platz in der koronaren Routinediagnostik erhalten zu haben. Das Kontrastmittel-enhancement der interstitiellen Ödembildung kann zur Infarkt-diagnostik genutzt werden, was aber nur in Zweifelsfällen notwendig wird. Bei Myokarditis und auch Kardiomyopathien werden ebenfalls Veränderungen des Kontrastverhaltens beobachtet. Die Entwicklung der Navigatortechnik und neuer Sequenzen hat die Darstellung der großen epikardialen Koronargefäße weiterentwickelt.

was auf die kaum vorhandene mitotische Aktivität der Myozyten zurückgeführt wird, die auf Schädigung mit fibrotischem Umbau, aber nicht mit regenerativer Mitose reagieren. Während intrakavitäre Tumoren echokardiographisch einwandfrei erkannt werden, lassen sich intramurale Rhabdomyosarkome, Fibrosarkome oder maligne Lymphome – zumal bei zunächst nicht expansiver Ausdehnung – nur schlecht erkennen. Die MRT kann zur Klassifizierung von Tumoren einige Beiträge liefern. Eine signalintensive Verdichtung deutet bei T1-Gewichtung auf einen fetthaltigen Tumor, wie das Liposarkom hin, auch auf frische Einblutungen oder zystische Anteile. Bei Fettsättigung erhält man in diesen Fällen eine Signalauslöschung. Unter Gadoliniumanwendung zeigen Thromben und Zysten keine, benigne Tumoren mangels Vaskularisierung kaum eine Anreicherung, stark vaskularisierte oder gar aus Gefäßen bestehende Tumoren wie das noch relativ häufige Angiosarkom aber eine sofortige Signalintensitätsvermehrung. Kommt es in Tumoren erst bei späteren Kreislaufpassagen zu einer sukzessiven Signalanhebung, liegen schon zentrale Nekrosen vor.

Perikardiale Veränderungen

Während Perikardverkalkungen nur mittels CT erkannt werden können, lässt die MRT bei akuter Perikarditis Kontrastanreicherungen im Perikard und vor allem sehr gut auch Perikardergüsse erkennen und quantifizieren. Perikardverdickungen bei chronischer Perikarditis in Spin-Echo-Technik sind ebenso erkennbar, wie die Auswirkungen einer Konstriktion mit Vergrößerung des rechten Vorhofs und der *Vv. cavae* mit Flussverlangsamung bei kleinem rechten Ventrikel. Auch Perikardzysten mit niedrigem T1-Signal und hohem T2-Signal sind gut erkennbar, ebenso wie seltene angeborene Perikardveränderungen.