

Kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie

Stellenwert des Herz-MR bei der Abklärung der koronaren Herzkrankheit

ROBERT MANKA, JÜRG SCHWITTER, ZÜRICH

Zusammenfassung

■ Die Früherkennung ist bei koronarer Herzkrankheit (KHK) besonders bedeutend. Die kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie, kurz Herz-MR, hat als nicht-invasive Methode in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Mit einer Herz-MR-Untersuchung können insbesondere morphologische und funktionelle Veränderungen von Herzmuskel und -klappen detailliert erfasst werden, und es lassen sich Myokardischämien und -vitalität darstellen. Ein ausschlaggebender Vorteil des Herz-MR besteht darin, dass verschiedene diagnostische Module in einem einzigen Untersuchungsgang kombiniert werden können [1, 2].

Résumé

■ L'identification précoce des patients avec une MCC est d'importance particulière. La tomographie cardiovasculaire par résonance magnétique, en abrégé cardio RM, méthode non invasive, a gagné en importance de façon croissante ces dernières années. Avec un examen cardio RM, il est en particulier possible d'enregistrer de façon détaillée des modifications morphologiques et fonctionnelles des muscles et des valves cardiaques, et il permet d'établir les ischémies et la vitalité du myocarde. Un avantage décisif de la cardio RM est constitué par le fait qu'elle permet de combiner différents modules diagnostiques dans le cadre d'un seul examen [1, 2].

Riassunto

■ Il riconoscimento precoce dei pazienti con MC è particolarmente importante. Una tecnica non invasiva, la risonanza magnetica cardiovascolare, brevemente cardio RM, ha assunto negli ultimi anni un'importanza crescente. Mediante una cardio RM, si possono rilevare nei dettagli soprattutto le alterazioni morfologiche e funzionali del miocardio e delle valvole cardiache ed è possibile rappresentare le ischemie e la vitalità del miocardio. Un vantaggio determinante della cardio RM consiste nel fatto che possono essere combinati in un'unica seduta di esame diversi moduli diagnostici [1, 2].

■ Zur definitiven Diagnose von Koronarstenosen ist die Koronarangiographie derzeit die Methode der Wahl. Als invasives Verfahren hat die Koronarangiographie jedoch eine Reihe von Nachteilen, zum Beispiel Kosten, potentielle Nephrotoxizität des Kontrastmittels, Strahlenbelastung etc. [3]. Es wird daher an der Entwicklung nicht-invasiver Verfahren gearbeitet, die mit hoher Zuverlässigkeit die Beurteilung einer KHK erlauben.

Mit einem Herz-MR der Koronarien können Stenosen zuverlässig im Bereich der proximalen und mittleren Gefäßabschnitte dargestellt werden [4, 5]. In einer Studie von Kim et al. zeigte sich aber, dass die diagnostische Leistung dieser Methode klinischen Ansprüchen noch nicht genügt. Die klinische Anwendung der MR-Koronarbildgebung ist deshalb zurzeit auf proximale Gefäßanteile zur Beurteilung von koronaren Anomalien und Aneurysmen beschränkt.

MR-Koronarbildgebung:

Probleme und Lösungsansätze

Der geringe Durchmesser und die komplexe Anatomie der Gefäße erschweren die MR-Koronarbildgebung. Ein weiteres Problem sind die Atem- und Herzbewegungen. Für eine optimierte Bildgebung sind verschiedene Aspekte von Bedeutung (Abb. 1):

Signal: Ein ausreichendes Signal ist eine unabdingbare Voraussetzung für eine qualitativ hochstehende Bildrekonstruktion. Das MR-Signal weist eine geringe Energie auf, daher müssen lange Messzeiten in Kauf genommen werden, damit ein adäquates Bild erstellt werden kann. Für die Koronardarstellung ist eine hohe räumliche und zeitliche Auflösung Voraussetzung. Doch eine bessere Auflösung bedingt auch ein höheres Signal. Hierfür benutzt man dreidimensionale Datensätze, die eine sehr gute Darstellung der gewundenen Gefäße erlauben. Diese Aufnahmetechnik dauert aber wesentlich länger als bei herkömmlichen zweidimensionalen Darstellungen.

Kontrast: Damit sich die Koronarien vom umgebenden Gewebe abgrenzen lassen, muss das Signal der umgebenden Strukturen unterdrückt werden. Dazu verwendet man entweder so genannte «Vorbereitungspulse», die das umgebende Gewebe «sättigen», oder Kontrastmittel, die das Signal im Gefäß erhöhen. Idealerweise werden diese Strategien kombiniert. Eine weitere Verbesserung des Kontrasts ist möglicherweise durch die Gabe von intravaskulären Kontrastmitteln zu erreichen (**Abb. 2**). Die Anwendbarkeit dieser Kontrastmittel wird aktuell in Phase-I- und Phase-II-Studien geprüft [6–8].

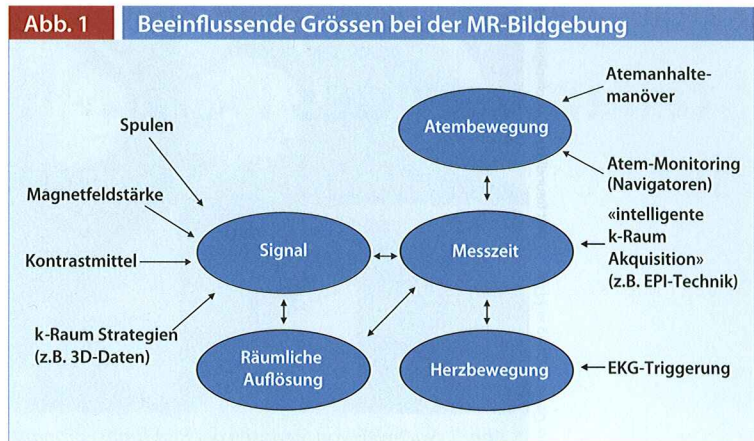
Herzbewegung: Um Bewegungsartefakte, die durch die Herzbewegung entstehen, zu vermeiden, ist eine schnelle Erfassung der Bilddaten entscheidend. Die Korrektur der Herzbewegung geschieht durch EKG-Triggerung, bei der Teile des Bildes in verschiedenen Herzzyklen aufgenommen werden. Hierbei liegt das Fenster zur Datenerfassung bei 50–100 ms pro Herzschlag.

Atembewegung: Um Bewegungsartefakte durch die Atmung zu eliminieren, werden zwei verschiedene Techniken verwendet. Bei der Navigatortechnik bestimmt eine kurze Messung die Position des Zwerchfells. Bilddaten werden nur dann aufgenommen, wenn sich das Zwerchfell – und damit das Herz – in der vorgesehenen Position befindet. Eine Alternative besteht in der Datenaufnahme während einer einzigen Atemanhalteperiode (Atemstopp) (**Abb. 3**). Hier limitiert die Länge des Atemstopps allerdings die erzielbare räumliche Auflösung. Deshalb ist die Navigatortechnik, bei welcher der Patient frei atmen kann, von Vorteil [9] (**Abb. 4**). Die Weiterentwicklung der Navigatortechnik ermöglicht die dreidimensionale, hoch aufgelöste Darstellung des gesamten Koronarbaums in 15–20 Minuten [10–12].

Darstellung der Myokardperfusion

Die Diagnostik der KHK erfolgt entweder durch die Darstellung der Koronarien oder der Myokardperfusion. Der hohe prognostische Wert der Myokardperfusion ist sehr gut dokumentiert [13, 14]. Dies trifft auch für die Perfusions-Bildgebung mittels Herz-MR zu: Jahnke et al. zeigten, dass induzierbare Perfusionsdefizite oder Wandbewegungsstörungen mit einem deutlich erhöhten Risiko verbunden sind, an einer Herzkrankheit zu sterben oder einen nicht-tödlichen Myokardinfarkt zu erleiden (Risikoerhöhung mit Faktor 5 bzw. 12); eine unauffällige Myokardperfusion ist dagegen mit einer exzellenten Prognose assoziiert [15].

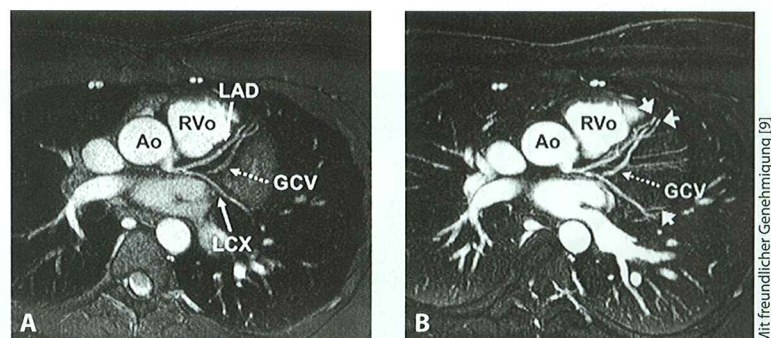
Zur Darstellung der Perfusion mittels Herz-MR wird der Vasodilatator Adenosin eingesetzt. Die Infusion dieser Substanz über wenige Minuten führt zu einer maximalen Erweiterung der Koronargefäße



und bewirkt eine Hyperperfusion in den gesunden Arealen des Myokards. In den Bereichen des Myokards, die durch ein stenotisiertes Gefäß versorgt werden, steigt die Durchblutung nicht an, und es kommt zu einer relativen Minderperfusion (Perfusionsdefekt).

Die Messung von myokardialen Perfusionsveränderungen in Ruhe und unter Stressbedingungen hat grosse Bedeutung. Denn eine Abnahme der Myokardperfusion ist der erste Schritt in der Ischämiekaskade und somit ein empfindlicher Parameter für das Vorliegen einer KHK.

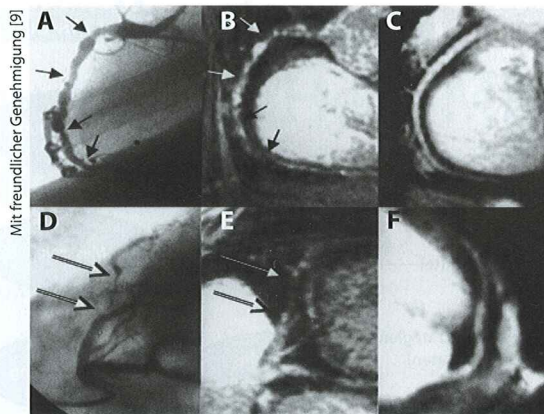
Bei Patienten mit bekannter oder vermuteter KHK kann das Perfusions-Herz-MR mit hoher Verlässlichkeit Ischämie-Zonen nachweisen oder ausschließen. Dank der hohen räumlichen Auflösung können die ischämischen Areale genau lokalisiert werden, selbst wenn die Perfusionsdefizite nur subendokardial liegen (**Abb. 5**). Diese Form des Herz-MR wird seit dem Jahr 2000 klinisch eingesetzt [16], und seit kurzem sind auch Multicenter-Daten verfügbar, die die hohe diagnostische Wertigkeit dokumentieren [17].



■ **Abb. 2:** Multiplanare Reformatierung bei einem gesunden Probanden, (A) nativ, (B) nach Gabe von intravaskulären Kontrastmitteln. Die Gabe von intravaskulären Kontrastmitteln bewirkt eine verbesserte Darstellung der Gefäße.

LAD: left anterior descending artery; LCX: left circumflex artery; Ao: Aorta; GCV: great cardiac vein; RVo: right ventricular outflow tract

Mit freundlicher Genehmigung [9]



■ Abb. 3: Nachweis von Stenosen der RCA (right coronary artery) und LAD (left anterior descending artery) in der invasiven Koronarangiographie (A, D). Darstellung der Stenosen mit MR mittels Atemstopptechnik und Kontrastmittel-Gabe (B, E). Weiche Gefässkonturen bei einem gesunden Probanden (C, F).

Die bislang grösste Multicenterstudie unter der Leitung des Zweitautors zur Anwendbarkeit des Perfusions-Herz-MR wurde in 18 Zentren weltweit durchgeführt. Die Resultate waren hervorragend; insbesondere verfügt das Perfusions-Herz-MR über eine grössere diagnostische Genauigkeit als die «Single-Photon-Emission-Computertomographie» (SPECT) [18]. In Einzelcenter-Studien erreicht die SPECT Sensitivitäten von 83–95% und Spezifitäten von 53–95%, in multizentrischen Studien Sensitivitäten von 77–87% und Spezifitäten von 36–58% [19–21]. Die SPECT hat jedoch eine niedrige räumliche Auflösung (4–8 mm) und belastet den Patienten mit ionisierender Strahlung.

Studien mit Perfusions-Herz-MR haben eine hohe diagnostische Genauigkeit nachgewiesen, sowohl im Vergleich zu Untersuchungen mit Herzkatheter [22, 23] als auch mit der Positronen-Emissions-Tomo-

graphie (PET) [16]. In zwei multizentrischen Studien lag die Sensitivität im Vergleich zur invasiven Koronarangiographie bei 93%, die Spezifität bei 75% [17, 24]. Neuste Methoden des Perfusions-Herz-MR erlauben eine sehr hohe räumliche Auflösung der Perfusionsdefekte bis 1,5x1,5 mm [25].

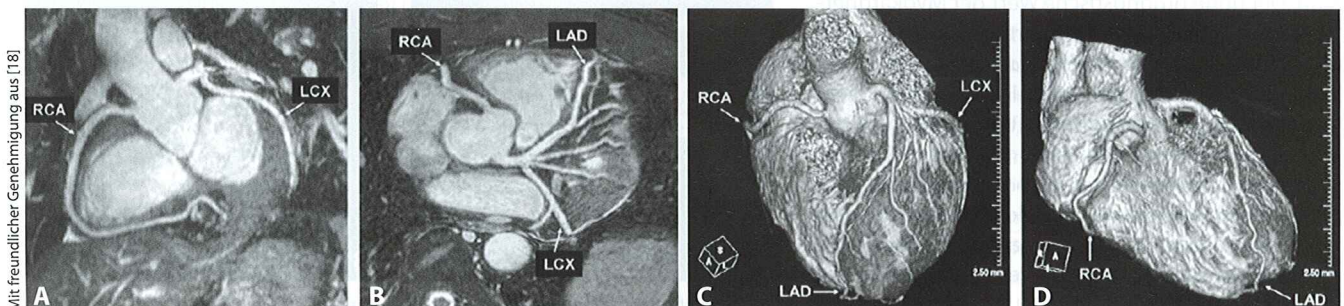
Somit eignet sich das Herz-MR ausgezeichnet zur Diagnose der KHK. Die KHK ist bekanntermassen eine chronische Erkrankung, die überwacht werden muss, damit bei Progression die Therapie angepasst werden kann. Meistens sind wiederholte Untersuchungen über viele Jahrzehnte notwendig. In diesem Zusammenhang hat das Fehlen einer Strahlenbelastung bei der Herz-MR-Untersuchung besonders grosse Bedeutung [26, 27].

Erfassung des Schweregrads der KHK: Ischämie und Vitalität

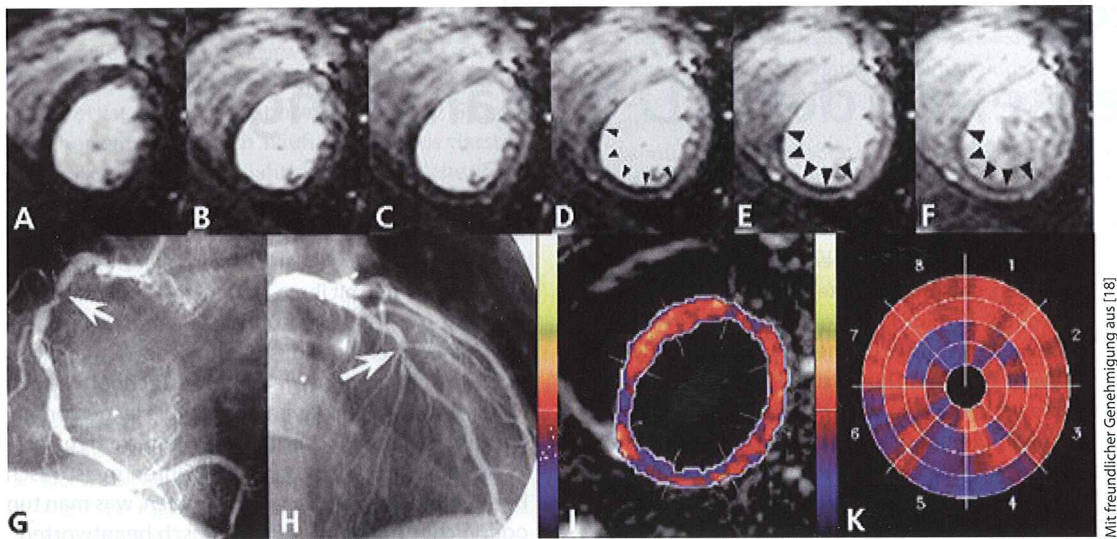
Mit der Herz-MR-Untersuchung können auch akute und chronische Infarkte mit hoher räumlicher Auflösung nachgewiesen werden. Bei der «Delayed-enhancement-Technik» (Vitalitätsmessung) erscheinen Myokardabschnitte mit intakter Membranfunktion der Herzmuskelzellen als dunkle Areale, akute Nekrosen und Fibrosen dagegen als signalreiche Areale (Abb. 6) [28]. Die Vitalitätsmessung weist Nekrosen oder Fibrosen bis zu einer Masse von 0,5 g nach [29], was sie gegenwärtig zur genauesten Methode im nicht-invasiven Bereich macht. Wenn die Notwendigkeit einer Revaskularisation bestimmt werden muss, ist die Vitalitätsmessung in Kombination mit der Ischämiediagnostik eine wichtige Untersuchung [30, 31].

Darstellung der Gefässwand

Das Risiko einer akuten Plaqueruptur und Gefässthrombosierung mit konsekutivem Gefässverschluss wird massgeblich durch den Stenosegrad bestimmt, aber auch durch die Zusammensetzung der atherosklerotischen Plaque [32]. Mittels Herz-MR



■ Abb. 4: Darstellung des koronararteriellen Gefässbaums bei einem gesunden Mann ohne Verwendung eines Kontrastmittels mittels Navigatortechnik. (A) Multiplanare Reformatierung eines dreidimensionalen Datensatzes zeigt die RCA und LCX. (B) Multiplanare Reformatierung zeigt die LAD, RCA und LCX (C, D). 3-dimensionale Rekonstruktion (sog. «whole heart imaging») vorzugsweise zur anatomischen Orientierung. LAD: left anterior descending artery; RCA: right coronary artery; LCX: left circumflex artery



■ Abb. 5: In der Abbildung 5 A–F ist das Anfluten des Kontrastmittels im Myokard während Hyperämie erkennbar mit einem Perfusionsdefizit in der Innenschicht der inferioren Wand (Pfeilspitzen). Die Computer-Auswertung errechnet den Anstieg des Signals und vergleicht mit einer Normal-Datenbank: die blauen Zonen entsprechen einer subendokardialen Ischämie (I, rot = normal perfundiertes Myokard). Diese Information kann auch für die gesamte Innenschicht dargestellt werden (Polar-Darstellung in 5K, Apex im Zentrum): Es zeigt sich ein zweites Perfusionsdefizit in der Vorderwand mit Mitbeteiligung der Lateralwand und des Septums. Entsprechend zeigte die Koronarangiographie eine Stenose in der rechten Kranzarterie (G) und eine weitere Stenose im mittleren R. interventricularis anterior (H).

lässt sich nicht nur das Koronarlumen abbilden, sondern auch die Gefäßwand und deren Morphologie [33, 34]. Die Darstellung von Plaques in den Koronarien ist jedoch wegen des geringen Gefäßdurchmessers sowie der Herz- und Atembewegungen noch eingeschränkt. Erste Untersuchungen an kleinen Patienten-Kollektiven zeigten aber ermutigende Ergebnisse.

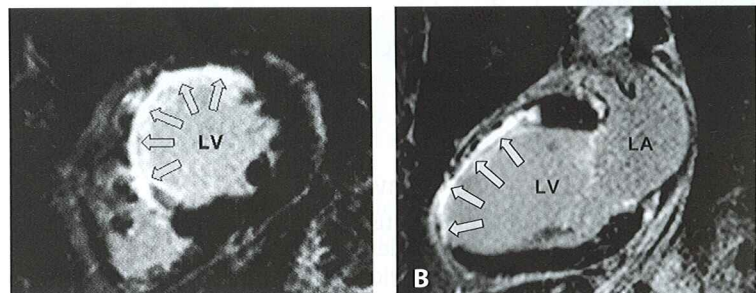
Schlussfolgerung

In der Ischämiediagnostik der KHK stellt die Herz-MR-Untersuchung zunehmend eine wichtige Alternative zu den etablierten Methoden dar.

Proximale Koronarsegmente und Koronarano-malien lassen sich mit Herz-MR zuverlässig darstellen.

Für die Diagnostik der KHK ist das Herz-MR der Koronarien noch nicht zu empfehlen, doch kann bei dieser Fragestellung das Perfusions-Herz-MR angewendet werden.

Wenn sich bei vermuteter oder bekannter KHK die Frage stellt, ob eine Revaskularisierung notwendig wird, ist die Vitalitätsmessung mittels Herz-MR in Kombination mit der MR-Ischämiediagnostik die Methode der Wahl.



■ Abb. 6: (A) «Delayed-enhancement»-Bildgebung; (B) Zweikammer-Blick: Nachweis einer myokardialen Infarktnarbe anterolateral, anterior und antero-septal (graue Pfeile) (LV: left ventricle; LA: left atrium).



Dr. med. Robert Manka

Institut für Biomedizinische Technik
Universität und ETH Zürich
UniversitätsSpital, 8091 Zürich
manka@biomed.ee.ethz.ch

Literaturliste beim Verlag