

MR und das Herz

# Darstellung von Struktur und Funktion des gesamten Herzens und der grossen Gefässe

Die kardiovaskuläre Magnetresonanztomographie (CMR) ist eine Untersuchungsmethode, die ein gutes Darstellen von Struktur und Funktion des gesamten Herzens und der grossen Gefässe ermöglicht. Im folgenden Artikel sollen die Stärken und Schwächen der Methode sowie die daraus resultierenden Indikationen und Kontraindikationen diskutiert werden.

**L'imagerie par résonance magnétique cardiovasculaire (IRMC) est une méthode qui permet une bonne présentation de la structure et de la fonction du coeur global et des gros vaisseaux. Dans l'article suivant les points forts et les faiblesses de la méthode et les indications et contre-indications résultants sont discutés.**

Die Magnetresonanztomographie wurde 1971 erfunden. Es handelt sich um ein Schichtbildverfahren, das auf dem unterschiedlichen Verhalten von Atomen (typischerweise Wasserstoffkernen) in elektromagnetischen Feldern in Abhängigkeit vom umgebenden Gewebe beruht. Es kommt ohne ionisierende Strahlung aus. Üblicherweise werden Scanner mit einer Feldstärke von 1.5 oder 3 Tesla verwendet, was 30 000- bzw. 60 000-mal dem Magnetfeld der Erde entspricht. In einem starken magnetischen Feld richten sich die Wasserstoffkerne in der Richtung des Feldes aus. Durch Applizieren eines Radiofrequenzimpulses werden die Atome ausgelenkt und kehren nach Beendigung des Impulses in die ursprüngliche Ausrichtung zurück. Dabei wird Energie frei, welche in ein Signal umgesetzt wird, dessen Stärke abhängig ist vom umgebenden Gewebe. Dies führt zu unterschiedlichen «Helligkeiten» im Bild.

## Sicherheit

CMR ist eine sichere Untersuchungsmethode. Die starken statischen und Gradientenmagnetfelder sowie die Radiofrequenzimpulse können jedoch potentiell zu Schäden führen, wenn sich ferromagnetische Implantate (z. B. Schrittmacher, vaskuläre Clips) oder Fremdkörper (z. B. Metallsplitter im Auge) im Körper befinden (1). Deswegen wird routinemässig vor einer MR-Untersuchung eine Checkliste durchgegangen, um entsprechende Kontraindikationen zu identifizieren.

Seit mehreren Jahren gibt es MR-kompatible Schrittmacher und seit 1–2 Jahren auch MR-kompatible implantierbare Defibrillatoren. Beide Arten Devices sind jedoch bislang erst für 1.5T-Scanner zugelassen, und es gilt jeweils zu berücksichtigen, ob allenfalls noch ältere nicht-MR-taugliche Elektroden (insbesondere epikardiale) in situ sind. Die Geräte müssen vor der Untersuchung auf einen MR-kompatiblen Modus umgestellt und anschliessend getestet und zurück in den ursprünglichen Modus programmiert werden. Listen mit den zugelassenen Implantaten finden sich auf [www.mrisafety.com](http://www.mrisafety.com). Herzklappen sind grundsätzlich MR-kompatibel, die Untersuchung sollte jedoch wenn möglich frühestens sechs Wochen nach



Dr. med.  
Annina Studer Brüngger  
Zürich

Implantation durchgeführt werden (gilt für alle intravaskulären Implantate/ Devices) (2).

Bei CMR-Untersuchungen wird oft Kontrastmittel verwendet, insbesondere zur Beurteilung von Narben oder infiltrativen Erkrankungen des Myokardes und für MR-Angiographien. MR-Kontrastmittel sind Gadolinium-haltig. Im Jahr 2000 wurde erstmals die nephrogene systemische Sklerose beschrieben, welche durch Sklerodermieartige Hautläsionen gekennzeichnet ist. Es wird davon ausgegangen, dass Gadolinium-haltige Kontrastmittel ein wichtiger Trigger dieser Krankheit sind (3). Sie betrifft nur Patienten mit schwer eingeschränkter Nierenfunktion, weswegen bei einer Kreatinin-Clearance von  $<30\text{ml/min/1.73 m}^2$  empfohlen wird, Kontrastmittel nur bei medizinisch dringender Indikation und fehlender diagnostischer Alternative zu verabreichen.

## Voraussetzungen

Da die meisten CMR-Sequenzen über mehrere Herzschläge akquiriert werden, ist ein regelmässiger Herzrhythmus hilfreich, um eine gute Bildqualität zu erreichen. Dies gilt insbesondere für die Cinésequenzen («Movies»), auf welchen die Funktion der Ventrikel visuell beurteilt wird, aber auch die Volumina und die Ejektionsfraktion (EF) gemessen werden. Mithilfe moderner Softwares besteht die Möglichkeit, eine gewisse RR-Variabilität zu korrigieren, sodass insbesondere ein Vorhofflimmern keine Kontraindikation für ein CMR darstellt.

Aufgrund der langen Akquisitionsdauer ist es notwendig, dass der Patient seinen Atem für einige Sekunden anhalten kann, um eine möglichst gute Bildqualität zu erreichen. Kann der Patient dies nicht, so ist es möglich, «Real-Time-Sequenzen» zu verwenden, bei welchen jedoch die räumliche und zeitliche Auflösung der Bilder eingeschränkt ist.

## Bestimmung von Morphologie und Funktion

Zur Volumen- und Massenbestimmung werden Cinéaufnahmen akquiriert, welche die Ventrikel von der AV-Ebene bis zum Apex abdecken (Kurzachsenschnitt). Anschliessend wird jede Scheibe in Enddiastole und Endsystole planimetriert, meist mit Hilfe von

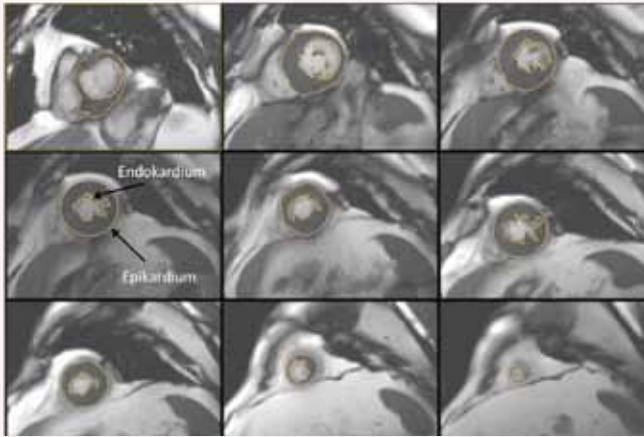


Abb. 1: Kurzschnittschemata in Enddiastole von basal (links oben) nach apikal (rechts unten). Durch Konturieren des Epi- und Endokardiums (in diesem Beispiel manuell) können die Masse und das enddiastolische Volumen des linken Ventrikels berechnet werden. Durch analoges Vorgehen in Endsystole werden zusätzlich das end-systolische Volumen und die Ejektionsfraktion berechnet.

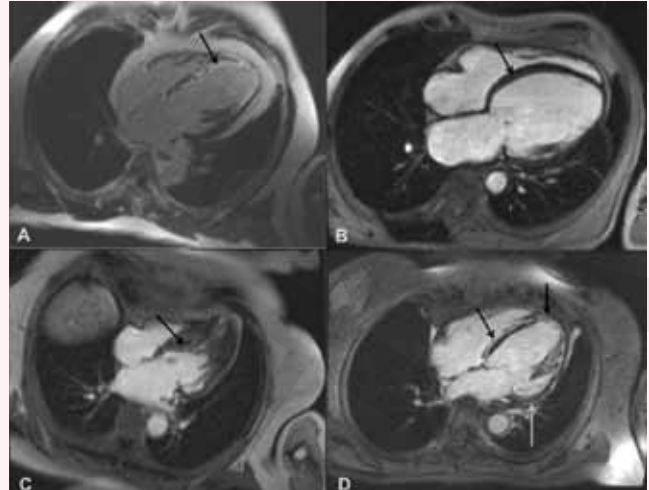


Abbildung 2: Subendokardiales bis transmurales Enhancement bei Myokardinfarkt im RIVA-Stromgebiet (2A). Mid-wall Enhancement bei einer dilatativen Kardiomyopathie (2B). Diffuses Enhancement insbesondere septal bei hypertropher Kardiomyopathie (2C). Teils subendokardiales, teils subepikardiales Enhancement (grauer Pfeil) in nicht-koronarer Verteilung bei Sarkoidose (2D).

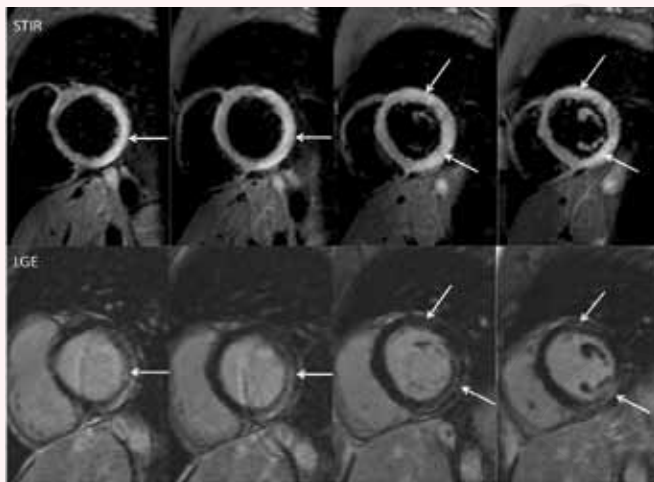


Abb. 3: 28-jähriger Mann mit akuter Myokarditis. Auf den T2-gewichteten Bildern (STIR, obere Reihe) zeigen sich ausgedehnte Areale von hyperintensem myo-kardialen Signal, der myokardialen Entzündung entsprechend. Auf den LGE-Bildern (untere Reihe) zeigt sich korrespondierend ausgeprägtes epikardiales bis mid-wall Enhancement.

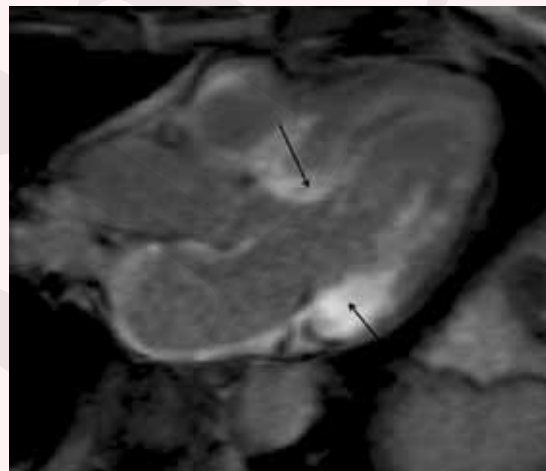


Abb. 4: Dreikammerblick eines Patienten mit kardialer Amyloidose. Es zeigt sich ausgeprägtes, beinahe transmurales Enhancement der basalen Abschnitte (Pfeile). Das Myokard lässt sich nicht «nullen» und erscheint grau als Zeichen der Infiltration.

semi-automatischen Softwares. Hieraus werden die biventrikulären Volumina und EF und die linksventrikuläre Myokardmasse berechnet (Abb. 1). Durch diese Methode, welche den gesamten Ventrikel visualisiert und im Gegensatz zur 2D-Echokardiographie nicht von geometrischen Annahmen ausgeht, sind genaue und reproduzierbare Messungen möglich (4, 5).

### Kardiomyopathien/Herzinsuffizienz

Eine CMR-Untersuchung ist empfohlen bei Patienten mit neu diagnostizierter Herzinsuffizienz, um die kardiale Struktur und Funktion zu bestimmen und um das kardiale Gewebe zu charakterisieren, falls die Echokardiographie eine ungenügende Bildqualität oder nicht konklusive Befunde liefert (Klasse I Indikation gemäss ESC-Guidelines) (6). Die genaue Bestimmung von Volumen und EF ist beispielsweise bei Frage nach Kardiomyopathien (z. B. ARVC,

DCM) oder der Frage nach der Indikation einer ICD-Implantation bei herzinsuffizienten Patienten entscheidend, wobei bei letzteren berücksichtigt werden muss, dass die Guidelines auf echokardiographischen Messungen beruhen und CMR-Messungen tendenziell tiefere EF liefern.

Ein grosser Fortschritt im Bereich der CMR war die Entwicklung von Kontrastmittel-verstärkten Bildern, diese werden ca. 8–15 Minuten nach Injektion des Kontrastmittels (LGE=late gadolinium enhanced) aufgenommen. Gadoliniumhaltiges Kontrastmittel lagert sich extrazellulär im Myokard ab und hilft somit bei der Beurteilung von Infiltrationen, Fibrosen oder Narben. Die Verteilungsmuster dieses Enhancements sind hochspezifisch für verschiedene Kardiopathien (7) (Abb. 2). Das Enhancement bei einer ischämischen Kardiopathie breitet sich typischerweise von subendokardial aus und liegt im Territorium einer Koronararterie

(Abb. 2A). Patienten mit einer nicht-ischämischen dilatativen Kardiomyopathie zeigen ebenfalls in ca. 1/3 der Fälle eine Fibrose, diese liegt jedoch typischerweise im mittleren Abschnitt des Myokardes («mid-wall», Abb. 2B). Eine hypertrophe Kardiomyopathie wird üblicherweise mittels Echokardiographie diagnostiziert. Die CMR-Untersuchung erlaubt jedoch zusätzlich zur genauen Bestimmung von Volumina und Masse den Nachweis einer Fibrose der hypertrophierten Myokardabschnitte, was als prognostisch ungünstiger Marker gilt (Abb. 2C).

Eine Myokarditis zeigt üblicherweise ein Enhancement der subepikardialen Myokardschicht, im Spezialfall der kardialen Sarkoidose kann das Enhancement jedoch auch transmural oder subendokardial nachweisbar sein (Abb. 2D). Wenn zusätzlich zu den Kontrastmittel-verstärkten Bildern T2-gewichtete Bilder (STIR) aufgenommen werden, kann zwischen akuten und abgelaufenen Entzündungen unterschieden werden (Abb. 3).

Ein Spezialfall der Kardiomyopathien ist die Amyloidose. Das diffus im Myokard abgelagerte Amyloid führt zu einer veränderten Kontrastmittelkinetik und zu Schwierigkeiten, das Myokard zu «nullen», d. h. das Myokard auf den LGE-Bildern schwarz darzustellen (Abb. 4).

Eine Eisenüberladung des Myokardes tritt bei transfusionsabhängigen Patienten mit Thalassämia major oder bei Hämochromatose auf. Diese Eisenüberladung kann mittels einer speziellen Sequenz (T2\*) quantifiziert werden und dient als prognostischer Marker, welcher der Bestimmung des hepatischen Eisens und des Serumferritins überlegen ist (8).

### Angeborene Herzfehler

CMR wird breit angewendet in der Diagnostik und Verlaufskontrolle bei angeborenen Herzfehlern, dies aufgrund der genauen und reproduzierbaren Messungen von Shunts, der guten Einsehbarkeit aller kardialen Strukturen und der zu- und abführenden Gefässe sowie (im Gegensatz zur Computertomographie) der Abwesenheit von ionisierender Strahlung, was bei wiederholten Untersuchungen relevant ist.

### Koronare Herzkrankheit

Bei Patienten mit stabiler Angina pectoris und intermediärer Vor-testwahrscheinlichkeit soll gemäss ESC-Guidelines ein nicht-invasiver Ischämietest durchgeführt werden (Klasse I-Indikation) (9). Dieser kann mittels Stressechokardiographie, CMR, SPECT oder CMR erfolgen, die Wahl der Methode ist abhängig von Patientencharakteristika und lokaler Verfügbarkeit. Ischämietests mittels CMR sind immer medikamentöse Belastungen, entweder mit einem Vasodilatator (üblicherweise Adenosin) und anschliessender rascher intravenöser Injektion von Kontrastmittel oder mittels Gabe von Dobutamin in steigender Dosis und Beurteilung der regionalen Wandkinetik hierunter. Weltweit wird die Perfusions-CMR häufiger angewandt, die Sensitivität und Spezifität liegen bei 86% bzw. 83% (CE-MARC-Trial (10)).

Wie bereits erwähnt, können mit LGE-Sequenzen Myokardinfarkte dargestellt werden, mittels zusätzlicher T2-gewichteter Bilder kann auch hier zwischen akuten und chronischen Infarkten unterschieden werden. Mittels EGE- (early gadolinium enhanced, Aufnahme ca. 5min nach Injektion) und LGE-Aufnahmen können ventrikuläre Thromben mit sehr hoher Sensitivität und Spezifität nachgewiesen bzw. ausgeschlossen werden (11).

Sowohl LGE-Sequenzen als auch medikamentöse Belastung mit niedrig-dosiertem Dobutamin können Aussagen über die Viabilität des Myokardes und die Wahrscheinlichkeit der Erholung der Wandbewegungsstörung nach Revaskularisation machen. LGE-Aufnahmen haben einen negativ-prädiktiven Wert von ca. 90% für eine fehlende Erholung in Segmenten mit >50% transmuralen Enhancement und einen positiv-prädiktiven Wert von ca. 80% für Erholung in hypokinetischen Segmenten ohne Infarkt (12).

#### Dr. med. Annina Studer Brüngger

Klinik für Kardiologie, Stadtspital Triemli,  
Birmensdorferstrasse 407, 8063 Zürich  
annina.studer@triemli.zuerich.ch

#### Verdankung:

Besten Dank an Dr. Jason Dungu (Consultant Cardiologist, Basildon and Thurrock University Hospital, UK) für das Überlassen von Abbildung 4.

**+** **Interessenkonflikt:** Die Autorin hat keine Interessenkonflikte im Zusammenhang mit diesem Beitrag deklariert.

#### Take-Home Message

- ◆ CMR ist eine sichere Untersuchungsmethode, die ohne den Einsatz von ionisierender Strahlung auskommt
- ◆ Es sind genaue und reproduzierbare Messungen der ventrikulären Volumina, der myokardialen Masse und der Ejektionsfraktion möglich, welche in Kombination mit LGE-Bildern hilft, die Diagnose vieler Kardiopathien zu stellen
- ◆ Mittels Stress-CMR mit Vasodilatator oder Dobutamin kann eine myokardiale Ischämie mit grosser Sensitivität und Spezifität diagnostiziert bzw. ausgeschlossen werden
- ◆ Mittels LGE-Sequenzen können zuverlässige Aussagen über die Viabilität des Myokardes gemacht werden

#### Messages à retenir

- ◆ L'IMRC est une méthode sûre qui ne nécessite pas l'utilisation d'un rayonnement ionisant
- ◆ Des mesures précises et reproductibles des volumes ventriculaires, de la masse myocardique et de la fraction d'éjection sont possibles, ce qui en combinaison avec des images LGE, aide à faire le diagnostic de nombreuses cardiopathies
- ◆ Par l'IRMC de stress avec vasodilatateur ou dobutamine une ischémie myocardique peut être diagnostiquée ou exclue avec une grande sensibilité et spécificité diagnostique
- ◆ Au moyen de séquences LGE des déclarations fiables sur la viabilité du myocarde peuvent être faites

**Literatur:**

1. Dill T. Contraindications to Magnetic Resonance Imaging. *Heart*. 2008;94:943-48.
2. Levine GN, Gomes AS, Arai AE, Bluemke DA, Flamm SD, Kanal E, Manning WJ, Martin ET, Smith M, Wilke N, Shellock FS. Safety of Magnetic Resonance Imaging in Patients with Cardiovascular Devices. An American Heart Association Scientific Statement from the Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology, and the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention. *Circulation*. 2007;116(24):2878-91.
3. Kaewlai R, Abujudeh H. Nephrogenic Systemic Fibrosis. *AJR*. 2012;199:W17-23.
4. Grothues F, Smith GC, Moon JC, Bellenger NG, Collins P, Klein HU, Pennell DJ. Comparison of interstudy reproducibility of cardiovascular magnetic resonance with two-dimensional echocardiography in normal subjects and in patients with heart failure or left ventricular hypertrophy. *Am J Cardiol*. 2002;90:29-34.
5. Grothues F, Moon JC, Bellenger NG, Smith GS, Klein HU, Pennell DJ. Interstudy reproducibility of right ventricular volumes, function and mass with cardiovascular magnetic resonance. *Am Heart J*. 2004;147:218-223.
6. Mc Murray JJV et al. ESC Guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure 2012. *Eur Heart J*. 2012;33:1787-1847.
7. White JA, Patel MR. The role of cardiovascular MRI in heart failure and the cardiomyopathy. *Cardiol Clin*. 2007;33: 71-95.
8. Kirk P, Roughton M, Porter JB, Walker JM, Tanner MA, Patel J, Wu D, Taylor J, Westwood MA, Anderson LJ, Pennell DJ. Cardiac T2\* magnetic resonance for prediction of cardiac complications in thalassemia major. *Circulation*. 2009; 120:1961-8.
9. Montalesco G. et al. 2013 guidelines on the management of stable coronary artery disease. *Eur Heart J*. 2013;34:2949-3003.
10. Greenwood JP, Maredia N, Younger JF, Brown JM, Nixon J, Everett CC, Bijnsterveld P, Ridgway JP, Radjenovic A, Dickinson CJ, Ball SG, Plein S. Cardiovascular magnetic resonance and single-photon emission computed tomography for diagnosis of coronary heart disease (CE-MARC): a prospective trial. *Lancet*. 2012;379(9814):453-60.
11. Srichai MB, Junor C, Rodriguez LL, Stillman AE, Grimm RA, Lieber ML, Weaver JA, Smedira NG, White RD. Clinical, imaging, and pathological characteristics of left ventricular thrombus: a comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging, transthoracic echocardiography, and transesophageal echocardiography with surgical or pathological validation. *Am Heart J*. 2006;152(1):75-84.
12. Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, Klocke FJ, Bonow RO, Judd RM. The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med*. 2000;343:1445-53.