

Kardio-MRT:

State-of-the-art-Diagnostik des Herzens

Prof. Dr. med. Timo Heidt

Die Magnetresonanztomografie des Herzens, kurz Kardio-MRT, ist eine hochmoderne Bildgebungstechnik, die es ermöglicht, das Herz in beeindruckender Detailgenauigkeit darzustellen. Wie die Ultraschalluntersuchung kommt die MRT vollständig ohne ionisierende Strahlen aus, bietet dabei jedoch eine Bildqualität und Eindringtiefe, die sonst nur mit der Computertomografie erreicht wird. Durch den exzellenten Weichteilkontrast sowie die Möglichkeit der Gewebecharakterisierung erlaubt die MRT eine weitreichende, nicht-invasive Diagnostik, Differentialdiagnostik und sogar Prognoseabschätzung bei kardialen Erkrankungen. Dies wird vor allem durch den interdisziplinären Zusammenschluss der Expertise aus Radiologie und Kardiologie erreicht. In diesem Artikel wollen wir Ihnen die Kardio-MRT vorstellen – von der State-of-the-art-Diagnostik bis hin zu zukünftigen Möglichkeiten.



Technische Aspekte der MRT

Für die Bildaufnahme nutzt die Kardio-MRT ein starkes Magnetfeld von bis zu 3 Tesla, welches in einer weiten Röhre den Patienten umgibt. 1 Tesla entspricht dabei in etwa dem 20.000-fachen Magnetfeld der Erde. Durch dieses Magnetfeld werden die Schwingungseigenschaften von Wasserstoffatomen im Körper so beeinflusst, dass sie sich entlang dem Magnetfeld ausrichten. Werden nun zusätzlich Radiofrequenzimpulse abgegeben, ändert sich kurzfristig die Ausrichtung der Wasserstoffatome. Hierbei wird Energie frei, die von hochsensitiven Empfängerspulen erfasst und in dreidimensionale Bildinformation umgerechnet wird. Da jede Gewebeart eine unterschiedliche Dichte von Wasserstoffatomen aufweist, lässt sich der Körper kontrastreich darstellen und Gewebe charakterisieren.

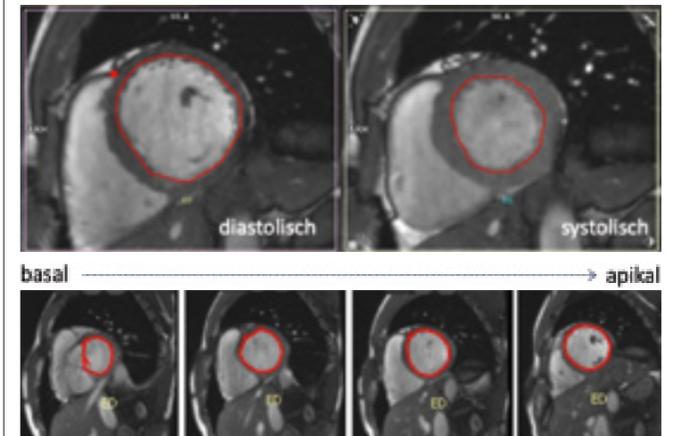
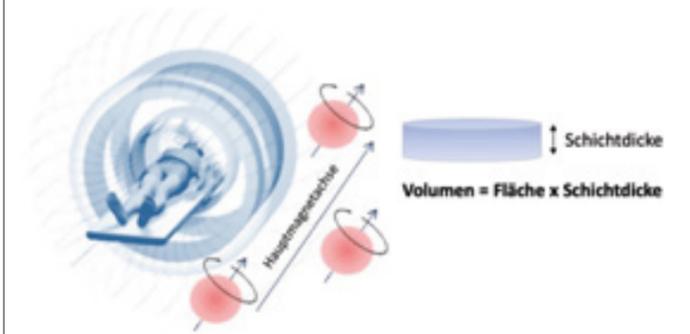


Abbildung 1: Darstellung des MRT-Magnetfelds um den Patienten. Wasserstoffatome richten sich entlang der Hauptmagnetachse aus. Durch Kenntnis der Schichtdicke lässt sich über die Fläche das exakte Volumen der Herzhöhlen quantifizieren und die Herzfunktion durch Änderungen des Volumens über den Herzzyklus berechnen.

Funktionsdiagnostik des Herzens

Die Funktionsdiagnostik umfasst die grundlegende Beurteilung des Herzens durch Kontraktionsanalyse sowie Vermessung der anatomischen Verhältnisse (Lage, Herzvolumina, Wanddicken). Aufgrund der niedrigeren Kosten, geringeren Untersuchungsdauer sowie ubiquitären Verfügbarkeit ist die Funktionsanalyse die eigentliche Domäne der Echokardiografie. Stößt die Echokardiografie jedoch an ihre Grenzen, durch Adipositas, Luftüberlagerung oder ein reduziertes Schallfenster, ist die Kardio-MRT äußerst hilfreich, denn sie kennt diese Einschränkungen nicht und bietet eine meist uneingeschränkte dreidimensionale räumliche Auflösung. Auch können viele Parameter direkt quantifiziert werden, während sich die Echokardiografie mancher mathematischen Annahme bedienen muss. Für die kardiale Anatomie und Funktion gilt die MRT daher inzwischen als der diagnostische Gold-Standard (**Abb. 1**). >>



Prof. Dr. med.
Timo Heidt

studierte Humanmedizin an den Universitäten des Saarlands und Freiburg im Breisgau. Nach der Approbation im Jahr 2009 absolvierte er die Facharztausbildung am Universitätsklinikum Freiburg und Universitäts-Herzzentrum Freiburg-Bad Krozingen und wurde 2019 Oberarzt für den Bereich der interventionellen Behandlung koronarer und struktureller Herzerkrankungen. Während eines zweijährigen Forschungsaufenthalts am Massachusetts General Hospital der renommierten Harvard Universität, Boston, USA, untersuchte er die Rolle des angeborenen Immunsystems nach dem Herzinfarkt sowie die Interaktionen zwischen Psyche und kardiovaskulären Erkrankungen. Nach der Habilitation im Jahr 2018 wurde er 2022 zum außerplanmäßigen Professor der medizinischen Fakultät der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg ernannt. Er ist ausgewiesener Experte im Bereich der interventionellen Therapien sowie der nicht-invasiven Bildgebung (kardiale MRT und CT). Er hält die Zusatzweiterbildung für die kardiale MRT und ist nach höchsten nationalen und internationalen Standards zertifiziert. Durch seine Erfahrung als Leiter der Blutdruckambulanz am Universitäts-Herzzentrum Freiburg-Bad Krozingen ist er auf die Optimierung kardiovaskulärer Risikofaktoren spezialisiert. Seit Oktober 2023 ist er Chefarzt der Kardiologie der Max Grundig Klinik.

Gewebecharakterisierung

Neben der Herzfunktion wird die Kardio-MRT besonders zur nicht-invasiven Gewebecharakterisierung des Herzens eingesetzt. Dies wird durch die differenzierte Auswertung der Wasserstoffatome im Magnetfeld sowie die Interpretation unterschiedlicher Anreicherungsmuster eines Gadolinium-haltigen Kontrastmittels, Late Gadolinium Enhancement (LGE) genannt, erreicht. *Myokardiale Mapping* Techniken ermöglichen dabei, mikroskopische Veränderungen im Herzmuskelgewebe, wie Fibrose oder entzündliches Ödem, genau zu quantifizieren und zu beurteilen. Somit lassen sich ischämische oder entzündliche Myokardnarben wie auch verschiedene Formen der Herzmuskelerkrankung voneinander abgrenzen. In **Abb. 2** sind unterschiedliche Formen der Gewebecharakterisierung dargestellt.

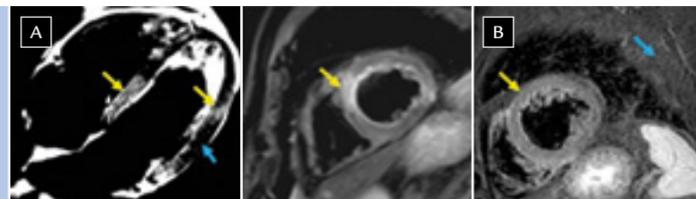
Ischämische Narben. Nach einem Herzinfarkt (MI) kann das Ausmaß des Myokardschadens untersucht und mögliche Komplikationen frühzeitig erkannt werden. Durch Verwendung des myokardialen Mappings und LGE kann bestimmt werden, wie groß der tatsächliche Myokardschaden ist und wieviel Myokard durch den rettenden Herzkatheter bewahrt wurde – die Area at Risk. Während sich die Herzfunktion bei Narben < 50 % der Wanddicke oder Nachweis einer Area at Risk ohne Narbenbildung im MRT prinzipiell erholen kann, bessert sich die Funktion im Bereich transmuraler Narben (> 50 % der Wanddicke betreffend) meist nicht mehr und begünstigen die Entwicklung einer Herzinsuffizienz. Prognostisch lässt sich hier auch eine MR-basierte dreidimensionale Deformationsanalyse des Herzmuskels, sog. Feature-tracking, nutzen. In Studien wurde damit das Kontraktionsverhalten der noch gesunden Herzanteile nach dem MI vermessen. Je besser der Schaden durch die übrigen Herzanteile kompensiert werden konnte, desto günstiger war auch die langfristige Prognose.

Herzmuskelentzündung (Myokarditis). Auch bei der Myokarditis hat die Kardio-MRT den diagnostischen Pfad maßgeblich verändert. Zuvor war die Herzmuskelbiopsie die einzige Methode, eine Myokarditis von anderen Formen der Herzmuskelerkrankung sicher abzugrenzen. Denn die Aussagekraft klinischer Laborparameter ist sehr begrenzt. Da die Kardio-MRT entzündliche Veränderungen des Myokards nicht-invasiv sichtbar macht, kann durch Verwendung gezielter MR-morphologischer Kriterien, den Lake Lewis Kriterien, die Diagnosegenauigkeit einer Myokarditis deutlich verbessert werden. Auch die MR-Verlaufskontrolle ist relevant, denn sie erlaubt anhand der Mapping Sequenzen die Beurteilung der Ausheilung, welche eine wichtige Voraussetzung für die Wiederaufnahme von sportlicher Aktivität ist. Ohne diese gezielte Information beträgt die empfohlene Sportpause aus Sicherheitsgründen bis zu sechs Monate. Die Kardio-MRT ermöglicht hingegen eine individuelle Beurteilung des optimalen Zeitpunkts für die Wiederaufnahme von körperlicher Belastung, was vor allem für sportlich ambitionierte Menschen von großer Bedeutung ist.

Speichererkrankungen. Neben entzündlichen Erkrankungen, verändern auch Speichererkrankungen das Gewebe im Magnetfeld. Diese seltenen Erkrankungen sind durch abnorme Ablagerungen von Substanzen im Herzmuskel gekennzeichnet, was zu Funktionsstörungen und Herzinsuffizienz führen kann. Die Kardio-MRT kann diese Ablagerungen genau abbilden und ihre Verteilung im Herzmuskel darstellen. Auch kann der Krankheitsverlauf über die Zeit nicht-invasiv verfolgt werden.

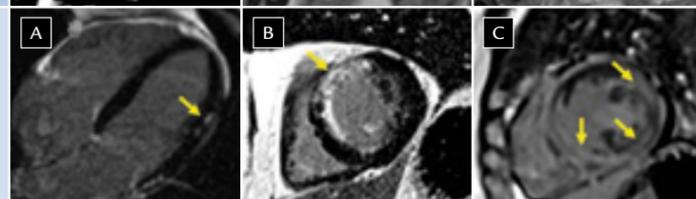
T2-gewichtete Bildgebung

Verstärkter T2-Kontrast (gelbe Pfeile) ist ein möglicher Hinweis für ein myokardiales Ödem und kann **A lokal** wie bei Myokarditis (links) oder nach MI (Mitte) auftreten oder **B global** bei Speicher- oder auch bei entzündlichen Herzerkrankungen. Hierbei erfolgt ein Vergleich zu Regionen ohne Veränderung, z. B. Skelettmuskulatur (blaue Pfeile).



Late Gadolinium Enhancement (LGE)

Abhängig von der Erkrankung lässt sich ein spezifisches LGE Muster nachweisen (gelbe Pfeile): **A fokales** Muster bei Myokarditis **B regionales** Muster einer ischämischen Narbe der Vorderwand **C diffuses** Muster einer Speichererkrankung.



Myokardiales Mapping

Mapping Techniken ermöglichen durch die absolute Berechnung der Relaxationszeiten eine hochsensitive Gewebecharakterisierung (gelbe Pfeile). **A** T1 Map zur Darstellung von Fibrose oder myokardialer Schädigung. **B** T2 Map zum Nachweis entzündlicher Veränderungen, z. B. der Area at Risk (AAR) **C** ECV Map zur Bestimmung des Extrazellulärvolumens bei Speichererkrankungen.

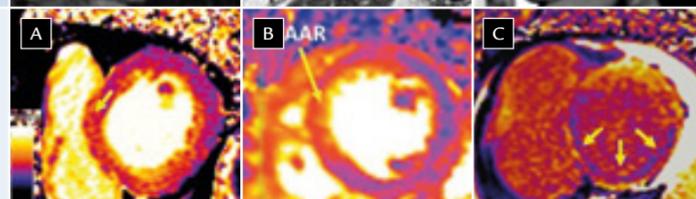


Abbildung 2: Gewebecharakterisierung mit der Kardio-MRT

Ischämiediagnostik

Durch die Verwendung wiederholter Bildaufnahmen, während der Anflutungsphase des Kontrastmittels unter Belastung, lässt sich in der Kardio-MRT die Durchblutung des Herzmuskels beurteilen (Stress-MRT). Für die Belastung muss dabei keine körperliche Aktivität wie beim Fahrradergometer verrichtet werden. Dies ist vor allem für Patienten mit Einschränkungen des Bewegungsapparats hilfreich. Anstelle dessen wird unter Verwendung von Medikamenten eine körperliche Belastungssituation simuliert. In Studien zeigte sich die Stress-MRT anderen Formen der Belastungsdiagnostik überlegen. Dies ist dadurch zu erklären, dass Störungen der Perfusion in der Ischämiekaskade noch vor Wandbewegungsstörungen, EKG-Veränderungen oder gar klinischen Beschwerdevorkommen. Die Stress-MRT ermöglicht damit eine hochsensitive Früherkennung kardialer Durchblutungsstörungen. **Abb. 3** zeigt einen typischen Befund einer Durchblutungsstörung in der Stress-MRT.

Grenzen der Kardio-MRT?

Auch die Kardio-MRT hat ihre Grenzen. Schwierig wird es vor allem, wenn Herzrhythmusstörungen die EKG-basierte Korrelation von Herzzyklus und Bildinformationen stören. Auch Implantate aus Metall lösen Bildartefakte aus und können manchmal eine MRT gänzlich verbieten. Herzschrittmacher machen hierbei in der Regel weniger Probleme. Viele Geräte sind bereits MRT-tauglich und auch ältere Aggregate können unter gewissen Voraussetzungen untersucht werden. Zu beachten ist, dass alle Geräte sowohl vor als auch nach der Untersuchung kontrolliert und entsprechend programmiert werden. Zuletzt ist Platzangst eine oft unterschätzte Herausforderung. Trotz der bereits großen Öffnung gelingt es manchen Patienten nicht, sich zu dieser Untersuchung durchzuringen.

Zukünftige Einsatzgebiete?

Durch den raschen technischen Fortschritt in der Medizin, ergeben sich immer neue potenzielle Einsatzgebiete für die Kardio-MRT. Die röntgenfreie und detaillierte Bilderfassung strahlt hierbei natürlich einen besonderen Reiz aus, vor allem für die Koronardiagnostik. Noch dauert die Darstellung der kleinen Herzgefäße zu lang und das Bild ist zu unscharf für eine verlässliche Diagnostik. Durch neue Kontrastmittel, die die Abgrenzung zwischen Gefäß und Gewebe verstärken, könnte dieses Problem jedoch bald der Vergangenheit angehören. Gelingt die Darstellung, dann wäre auch eine MR-geführte Intervention nicht mehr weit, welche bereits intensiv erforscht wird (**Abb. 4**)

Fazit: Die Kardio-MRT ist ein leistungsstarkes Instrument der modernen Kardiologie. Sie unterstützt nicht nur die Diagnose von Herzerkrankungen, sondern auch die Bewertung des Risikos und der Prognose. Ihre nicht-invasive Natur und Fähigkeit, detaillierte Einblicke in die Herzgesundheit zu liefern, machen sie zu der State-of-the-Art-Diagnostik des Herzens. <<

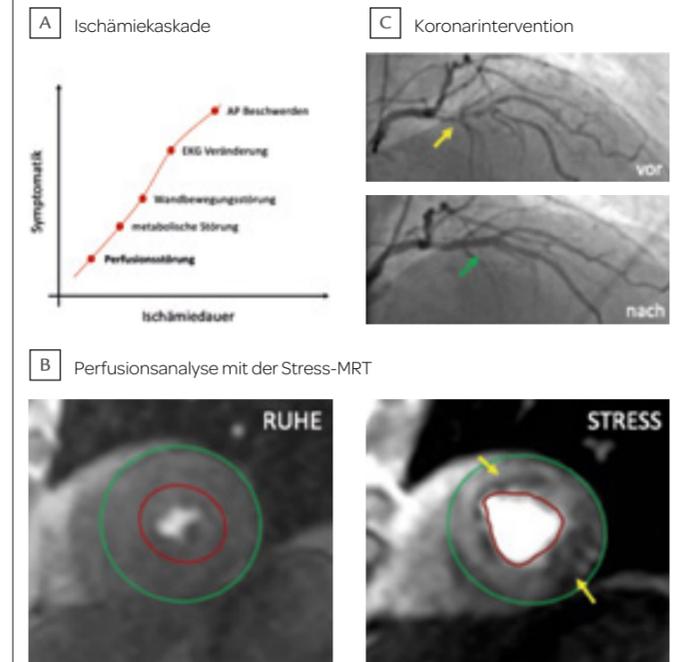


Abbildung 3: A Perfusionsstörungen sind der erste hämodynamische Indikator einer myokardialen Ischämie und lassen sich nicht-invasiv mit der Stress-MRT darstellen. B Unter Belastung treten im Vergleich zur Ruheperfusion Verzögerungen in der Kontrastmittelanflutung auf, welche als dunkle Areale (gelbe Pfeile) zur Darstellung kommen. C Dargestellt ist die Koronarangiografie des Patienten aus B mit passender Einengung der Koronargefäße (grüne Pfeile), welche mittels Herzkatheter erfolgreich zu behandeln war (gelbe Pfeile).



Abbildung 4: Forschungsansätze A Im Vergleich zur Standard-MRA der Koronarien ermöglichen neue Kontrastmittel eine deutliche Verbesserung der Bildqualität. Somit lassen sich hochgradige (rote Pfeile) und mittelgradige (gelbe Pfeile) Stenosen der Koronargefäße auch im Vergleich zur invasiven Koronarangiografie mit der MRT gut darstellen (adaptiert von doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.123.015404). Noch sind diese Kontrastmittel allerdings nicht verfügbar. B MR-geführte kardiologische Interventionen könnten in Zukunft den vollständigen Verzicht auf ionisierende Strahlung ermöglichen. Diese Verfahren sind Gegenstand aktueller Forschung.