

Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislauserkrankungen

Koronargefäßdiagnostik mittels Magnetresonanztomographie

Globits S, Kaiser B, Mayr H

Mittendorfer M, Salomonowitz E

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2003; 10

(1-2), 50-55

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Veranstaltungskalender

Hybrid-Veranstaltungen der Herausgeber des **Journals für Kardiologie**

Finden Sie alle laufend aktualisierten Termine
auf einem Blick unter

www.kup.at/images/ads/kongress.pdf

Koronargefäßdiagnostik mittels Magnetresonanztomographie

S. Globits¹, H. Mayr¹, B. Kaiser², M. Mittendorfer², E. Salomonowitz²

Kurzfassung: Die Darstellung der Koronargefäße mittels Magnetresonanztomographie (CMRA) ist durch den kleinen Gefäßdurchmesser, die starke Schlingelung, die topographische Nähe zu epikardialen Fettgewebe sowie Bewegungs- und Atemartefakte limitiert. Bedingt durch die rasche technische Entwicklung im letzten Jahrzehnt konnten einige der Probleme gelöst werden, so daß die Methode in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung an der Schwelle zum klinischen Einsatz steht. Aufgrund der fehlenden Strahlenbelastung und der Vermeidung potentieller Komplikationen

einer invasiven Untersuchungstechnik würde sich die CMRA im besonderen für Screening-Untersuchungen und Verlaufskontrollen eignen. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die potentiellen diagnostischen Möglichkeiten der CMRA.

Abstract: MRI for Assessment of Coronary Arteries. The clinical application of coronary magnetic resonance angiography (CMRA) is limited by several factors, such as small vessel diameter, winding, proximity to epicardial fat as well as artefacts due to

cardiac and respiratory motion. Recent technical advances in hard- and software helped to overcome some of the inherent problems and allow visualisation of proximal coronaries, thus making CMRA potentially clinical useful. Since CMRA obviates patient exposure to radiation and potential risks of invasive X-ray angiography, it would be extremely helpful as a non-invasive screening and follow-up procedure. The following article reviews the issues involved in CMRA and its potential use in the clinical area. **J Kardiologie** 2003; 10: 50–5.

■ Einleitung

Kardiovaskuläre Erkrankungen stellen trotz kontinuierlicher Verbesserungen in Prävention und Therapie nach wie vor die häufigste Todesursache in westlichen Ländern dar. Die konventionelle Röntgenangiographie der Herzkranzgefäße gilt als Goldstandard in der Diagnostik der koronaren Herzerkrankung, allerdings ist die Methode mit hohen Kosten und einem Morbiditätsrisiko von 0,1–0,3 % behaftet. Zusätzlich beträgt die Rate an unauffälligen Koronarangiogrammen durchschnittlich 30–35 %. Eine nichtinvasive, zuverlässige Beurteilung der Koronaranatomie würde daher eine wertvolle Bereicherung für die kardiovaskuläre Diagnostik darstellen. Potentielle klinische Anwendungen der CMRA sind die Erfassung von Koronarstenosen in den proximalen und mittleren Gefäßabschnitten, Darstellung von Koronaranomalien und Nachweis der Offenheit von aortokoronaren Bypassen oder Native Gefäßen nach Stentimplantation.

■ Historische Entwicklung der CMRA

Die Darstellung der Koronargefäße mittels CMRA wurde seit der Einführung 1993 durch zahlreiche technische Entwicklungen verbessert, befindet sich aber immer noch im Entwicklungsstadium (Abb. 1). Frühe CMRA wurde mittels zweidimensionalen (2-D) Gradientenecho-Sequenzen durchgeführt, durch Segmentierung des k-Raumes konnten Bewegungsartefakte und durch Atemanhaltetechnik Atemartefakte substantiell reduziert werden.

Die erste klinische Anwendung der CMRA zum Nachweis von Koronarstenosen erfolgte bei 39 Patienten im Beth Israel Spital in Boston [1]. In dieser Studie zeigte die CMRA im Vergleich mit konventioneller Angiographie eine Sensitivität von 90 % und eine Spezifität von 92 % zum Nachweis von > 50 %-Stenosen, die entsprechenden positiven und negativen

Vorhersagewerte lagen bei 0,85 bzw. 0,95. Der Nachweis von Stenosen gelang am besten im Bereich der vorderen Kranzarterie (LAD), am schlechtesten im Bereich des Seitenwandgefäßes (LCX), der Ausschluß von Stenosen gelang am schlechtesten in der RCA. In einer Nachfolgestudie mit 72 Patienten und 81 Koronarstenosen lag die Sensitivität unverändert hoch bei 90 % [2]. Diese Ergebnisse führten nicht nur zu großem Interesse bei Fachkollegen und MR-Geräteherstellern, sondern auch in der Laienpresse. Die Methode war initial so vielversprechend, daß eine baldige klinische Anwendung in Aussicht gestellt wurde.

Nachfolgend durchgeführte Untersuchungen in doppeltblinder Form [3] konnten allerdings diese hervorragenden Ergebnisse nicht reproduzieren, was zu einer lebhaften Fachdiskussion über den klinischen Wert der Methode führte [4, 5]. Zwischen 1994 und 1995 lag die Sensitivität für > 50 %-Stenosen zwischen 0 und 88 % [6–9]. Diese diskrepanten Ergebnisse waren nicht durch unterschiedliche technische Voraussetzungen (in der Tat erfolgten die Studien von Manning und Duerinckx am gleichen Gerät der Fa. Siemens mit den gleichen Pulssequenzen) oder unterschiedliche Patientenauswahl bedingt, sondern durch unterschiedliche Bildinterpretation und subjektive Einschätzungen des Stenosegrades. Dies war vor allem durch die tech-

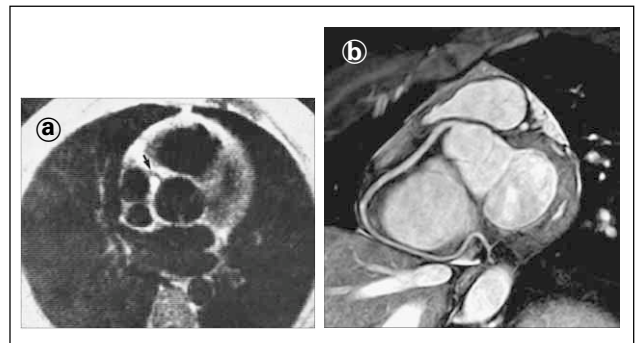


Abbildung 1: Historische Entwicklung der CMRA: **a)** Erste Darstellung der RCA mittels T1 Spin Echo 1983 (Mit freundlicher Genehmigung der Radiological Society of North America aus Herfkens R, et al. Nuclear magnetic resonance imaging of the cardiovascular system: normal and pathologic findings. Radiology 1983; 147: 749–59). **b)** State-of-the-art-Darstellung der RCA 2002: 3D bTfE und Atemanhaltetechnik (Mit freundlicher Genehmigung von Wiley-Liss, Inc., a subsidiary of John Wiley & Sons, Inc., © 2002, aus Stuber M, et al. "Soap-Bubble" visualization and quantitative analysis of 3D coronary magnetic resonance angiograms. Magn Reson Med 2002; 48: 658–66.)

Aus der ¹3. Medizinischen Abteilung/Kardiologie, KH St. Pölten, und dem ²Zentralröntgeninstitut, KH St. Pölten

Korrespondenzadresse: Univ.-Doz. Dr. med. Sebastian Globits, 3. Medizinische Abteilung, KH St. Pölten, Propst-Führer-Straße 4, A-3100 St. Pölten; E-Mail: sebastian.globits@univie.ac.at

nischen Limitationen der ersten 2-D-Gradientenecho-Sequenzen in Atemanhaltetechnik bedingt: Die Beurteilung der Stenosen erfolgte auf einer Schicht, wodurch die räumliche Erfassung des Gefäßes nicht gesichert war. Es war schwierig, zwischen anatomischer Stenose und Verlagerung des Gefäßes außerhalb der Schnittebene zu unterscheiden, zusätzlich waren räumliche (ca. 1 mm) und zeitliche (ca. 80–100 msec) Auflösung limitiert. Weitere Limitationen der 2-D-CMRA umfassen den Zeitpunkt der Darstellung des Koronargefäßes im Herzzyklus, unregelmäßige Atemanhaltephasen mit unterschiedlicher Position des Koronargefäßes von Schicht zu Schicht, Partialvolumeneffekte bei stark geschlängelten Gefäßen mit Überlappung benachbarter anatomischer Strukturen, retrograden Blutfluß bei subtotalen Stenosen über Kollateralgefäße und schließlich schwer interpretierbare Signale der Gefäßwand inkl. Plaques.

Bisher wurden die Erfahrungen mit 2-D-CMRA bei über 220 Patienten publiziert, die Sensitivität für Stenosen > 50 % streut zwischen 33 % und 100 %. Diese Werte sind zusätzlich für die 3 epikardialen Hauptgefäße sehr variabel. Da anfänglich Einfachelement-Oberflächenspulen anterior verwendet wurden, konnte vor allem die LCX kaum dargestellt werden. Mit neueren Mehrelement-Oberflächenspulen haben sich die Ergebnisse im LCX-Bereich verbessert.

Die Einführung der ersten dreidimensionalen (3-D) Techniken mit volumetrischer Akquisition von mehreren dünnen Schichten innerhalb eines Scans unter Verwendung von segmentierten Gradientenecho- oder Echoplanar-Sequenzen führte zunächst zu keiner wesentlichen Verbesserung der Ergebnisse und war zum Teil sogar schlechter (Sensitivität 0 % bis 38 %). Die Echoplanar-Technik deckt zwar den k-Raum optimal ab, ist jedoch durch Blutfluß- und Suszeptibilitätsartefakte limitiert. Diese Artefakte konnten durch die Einführung einer segmentierten EPI-Technik reduziert werden (nach 2 bis 4 Radiofrequenzimpulsen erfolgt ein kurzes EPI-Ausleseverfahren mit 5 bis 9 Echos).

Da während des Atemzyklus das Zwerchfell eine Bewegungsamplitude von bis zu 3 cm aufweist, ist eine Kompensation für Atembewegungen notwendig. Initial wurden 2-D-Gradientenecho-Sequenzen in der mittleren bis späten Diastole in Atemanhaltetechnik akquiriert. Allerdings ist es für die meisten Patienten mit kardiopulmonalen Erkrankungen unmöglich, eine Atemanhaltephase von 15 bis 20 s zur Akquisition von etwa 10 bis 30 Schichten einzuhalten. Außerdem führen unterschiedlich lange Atemanhaltezyklen zu Artefaktregistrierung und eingeschränkter Bildqualität. 1993 publizierten Liu und Mitarbeiter [10] die neu entwickelte Navigatortechnik, die einen 2-D-Radiofrequenzpuls (= Navigator-echo) senkrecht zur Lungen-Zwerchfell-Grenze anwendet. Die Datenakquisition erfolgt in einem frei wählbaren Bereich (üblicherweise 3–5 mm) der Zwerchfellposition (Abb. 2). Durch Kombination mit schnellen Gradientenecho- oder Echoplanar-Techniken verbessern sich die Sensitivitätswerte der CMRA auf bis zu 81 % [11, 12]. Diese Technik ermöglicht es dem Patienten, während der Untersuchung kontinuierlich frei zu atmen, führt jedoch zu einer deutlichen Verlängerung der Untersuchungszeit und birgt die potentielle Gefahr von Artefaktdarstellungen. Daher gehen die neuesten Entwicklungen in Richtung 3-D-Verfahren während eines Atemanhaltezyklus, dafür gibt es allerdings noch keine größeren klinischen Erfahrungen.

Das relativ neue Sense-Verfahren („sensitivity encoding“) nutzt den Vorteil von Mehrfachelement-Oberflächenspulen, indem nur mehr ein Teil des k-Raumes ausgelesen wird. Die verbliebenen Linien des k-Raumes werden dann auf der Basis der Sensitivitätsinformation der einzelnen Spulenelemente rekonstruiert. Ein großer Vorteil dieser Methode besteht in einer deutlich verkürzten Untersuchungszeit, einen potentiellen Nachteil stellt die Abnahme des Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses dar. Weitere Verbesserungen der Bildqualität können durch Fettunterdrückung mittels frequenzselektivem Präpuls sowie durch Unterdrückung von Bewegungsartefakten des Myokards mittels T2-Präpuls oder einem Magnetisierungstransfer erzielt werden.

Insgesamt hat sich in der klinischen Anwendung keine Technik als überlegen herausgestellt oder gar die Sensitivität der konventionellen Röntgenangiographie erreicht. Ein direkter Vergleich der neueren 3-D-Techniken mit Navigator an gesunden Probanden zeigt, daß die Gefahr der Mißinterpretation von Bildartefakten noch größer ist, als bei den 2-D-Verfahren in Atemanhaltetechnik. So fanden Stehling und Mitarbeiter, daß ca. 50 % der Untersuchungen überhaupt nicht auswertbar sind [13]. Auch wenn sich die Darstellung der Koronargefäße mittels neuer Navigator-Techniken verbessert hat, bestehen gravierende Limitationen bei der Erfassung von signifikanten Stenosen. Auch liegen keine relevanten Vergleichsstudien zwischen CMRA und anderen nichtinvasiven Methoden wie EBCT, Isotopenmethoden oder Echokardiographie zum Screening der KHK vor.

■ „Black Blood“-CMRA (Abb. 3)

Diese Technik nutzt den Vorteil eines negativen Kontrastes zwischen fließendem Blut (schwarz) und epikardialem Fettgewebe bzw. Myokard (grau bzw. weiß) und scheint besonders vielversprechend bei Patienten nach aortokoronarer Bypassoperation bzw. Zustand nach intrakoronarer Stentimplantation zu sein, da Stents bei blutflußsensitiven Gradientenecho-Sequenzen Suszeptibilitätsartefakte im hellen Blutstrom erzeugen. Es liegen allerdings noch keine größeren Untersuchungen hinsichtlich Sensitivität und Spezifität dieser Methode bei koronarer Herzerkrankung vor.

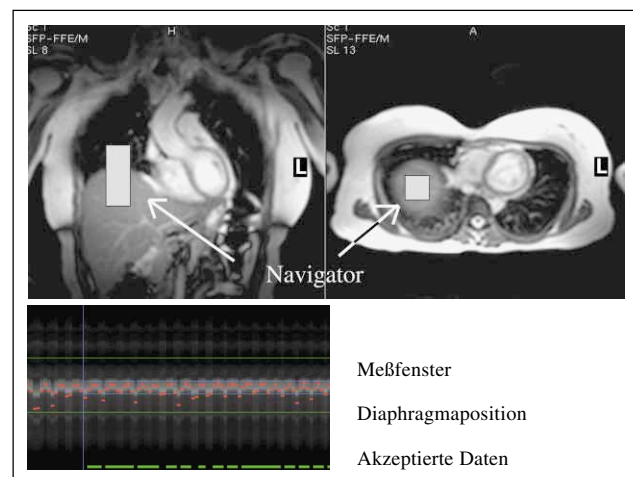


Abbildung 2: Navigatortechnik: 2-D-Radiofrequenzpuls monitorisiert die Lungen-Zwerchfell-Grenze

■ „Bright Blood“-CMRA (Abb. 4)

Durch Anwendung von segmentierten Gradientenecho-Sequenzen werden die Koronargefäße als signalreiche lineare Strukturen dargestellt. Um keine Interferenz mit umgebendem Fettgewebe zu haben, wird dieses von einem Präpuls abgesättigt. Mit Hilfe von intravenösen MR-Kontrastmitteln kann die T1-Relaxationszeit von Blut um einen Faktor 10 reduziert werden, was zu einer deutlichen Verbesserung des Kontrastes zwischen Blutfluß und Myokard führt (Abb. 5). Gute Ergebnisse in der Darstellung der Koronargefäße wurden durch Anwendung von Kontrastmitteln in Kombination mit Inversionspräpuls in Atemanhaltetechnik erzielt.

■ Untersuchungsplanung

Aufgrund der starken Schlingelung der Herzkranzgefäße ist es notwendig, mehrfach doppeltgewinkelte Projektionen entlang des natürlichen Gefäßverlaufes anzuwenden. Bei allen Untersuchungsprotokollen erfolgt zunächst ein axialer Suchschnitt zur Definition des Abgangs der Koronargefäße, gefolgt von einer doppeltgewinkelten hochauflösenden CMRA des entsprechenden Koronargefäßes, welches auf 3 axialen Schnittebenen (sog. „3-Point Plan Scan“) geplant wird (Abb. 6, 7). Die räumliche Auflösung kann durch Signalmittelung, dreidimensionale Gefäßdarstellung und Anwendung von intravenösen MR-Kontrastmitteln verbessert werden. Neben der linearen k-Raum-

Messung wurde auch eine spiralförmige k-Raum-Messung entwickelt [14]. Da jedoch mit mehrfachen Signalmittelungen die Untersuchungszeit zunimmt, ist diese Methode nicht für die Atemanhaltetechnik geeignet. Daher hat sich in der letzten Zeit die 3-D-Datenakquisition unter Anwendung der Navigator-technik wegen des verbesserten Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses etabliert. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist die Möglichkeit einer Rekonstruktion des Gefäßes in mehreren Ebenen.

■ Darstellung der normalen Koronargefäßanatomie

Durch Anwendung der oben genannten Techniken (2-D-CMRA mit Atemanhaltetechnik oder 3-D-CMRA mit Navigator-technik) ist es derzeit möglich, die Abgänge beider Koronargefäße zu 100 % abzubilden (Abb. 8). Im allgemeinen ist es einfacher, die LAD und RCA über eine längere Distanz darzustellen. Die Erfassung der LCX ist durch die relativ große Distanz von der Empfängerspule, durch den etwas kleineren Gefäßdurchmesser sowie die Nähe des blutgefüllten linken Ventrikels limitiert. Die Darstellung der RCA ist besonders gut möglich, da diese in einem meist sehr prominenten epikardialen Fettmantel (Sulcus atrioventricularis anterior) verläuft, der mittels Präpuls effektiv unterdrückt werden kann. Im Gegensatz dazu verläuft die LAD stärker geschlingelt und ist daher schwierig auf einer Bildebene darzustellen. Die durchschnittlichen Längen der dargestellten Gefäßabschnitte

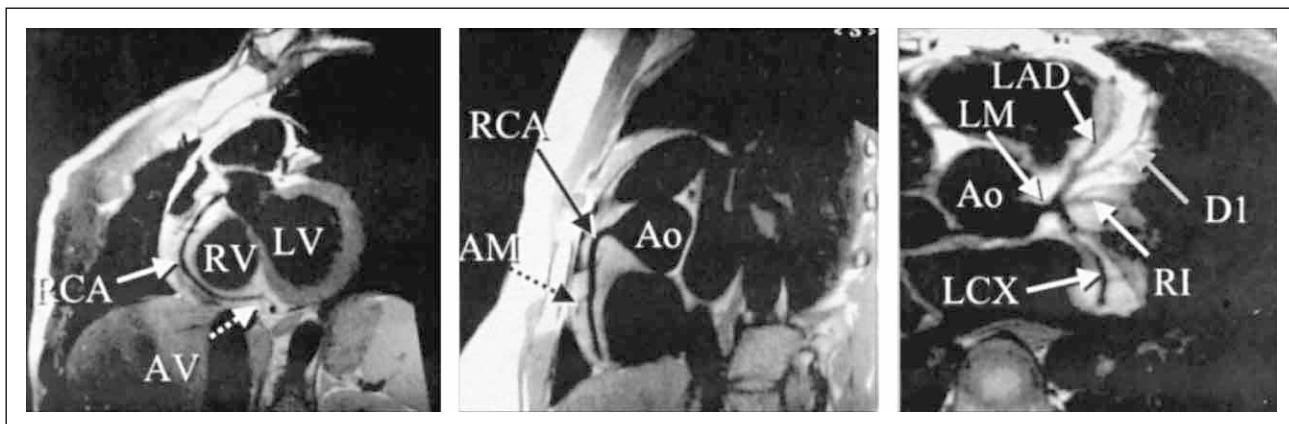


Abbildung 3: Black-Blood-CMRA mittels 3D-TSE-Technik + Navigator-technik: RCA links und Mitte, LAD rechts. RV = rechter Ventrikel, LV = linker Ventrikel, AV = R. descendens posterior, AM = rechtsventrikulärer marginaler Ast, Ao = Aorta, LM = linker Hauptstamm, D1 = 1. Diagonaler Ast, RI = Ramus intermedius. (Mit freundlicher Genehmigung der Radiological Society of North America aus Stuber M, et al. Free-breathing black-blood coronary MR angiography: initial results. Radiology 2001; 219: 278–83.)



Abbildung 4: 3D-bTFE + Navigator-technik: RCA proximal und Mitte (links), distal (rechts)

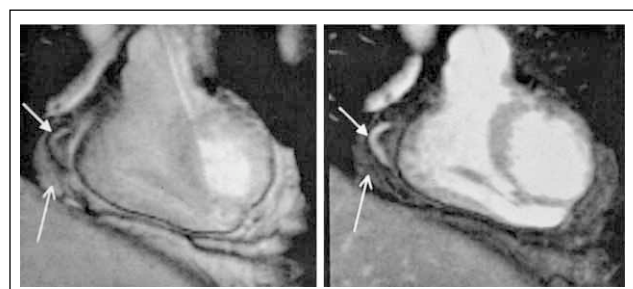


Abbildung 5: Kontrastmittelverstärkte CMRA: nach KM-Gabe ist der mittlere Teil der RCA deutlich besser abzugrenzen (rechts). (Mit freundlicher Genehmigung der Radiological Society of North America aus Li D, et al. Coronary arteries: magnetization-prepared contrast-enhanced three-dimensional volume-targeted breath-hold MR angiography. Radiology 2001; 219: 270–7.)

betragen bis zu 120 mm bei LAD, 125 mm bei RCA und 90 mm bei der LCX [15–21]. Die gemessenen proximalen Gefäßdurchmesser betragen 2,8 bis 4,8 mm mit guter Korrelation zur konventionellen Angiographie [22].

■ Darstellung abnormer Koronargefäßabgänge (Abb. 9)

Durch die zuverlässige Darstellung des proximalen Abschnittes aller 3 Koronargefäße ist es möglich, auch atypische Gefäßabgänge darzustellen, die mit einer Häufigkeit von ca. 0,6 bis 1,2 % in der Durchschnittsbevölkerung auftreten (60 % betreffen die LCX, je 20 % LAD und RCA). Einige dieser Anomalien sind mit einer erhöhten Inzidenz an plötzlichem Herztod und Myokardinfarkt verbunden, insbesondere dann, wenn das abnorm verlaufende Gefäß zwischen Aorta und Pulmonalishauptstamm verläuft [23, 24]. Post und Mitarbeiter [25] konnten mittels CMRA bei 19 Patienten einen abnor-

men Koronargefäßabgang korrekt identifizieren (Sensitivität 100 %). Diese Ergebnisse wurden mittlerweile von anderen Autoren bestätigt [26, 27], die CMRA wird daher zum Nachweis abnormer proximaler Koronargefäßverläufe als Goldstandard angesehen (AHA 1999).

■ Darstellung von Koronarstenosen

Die Physiologie des Koronarflusses unterscheidet sich stark vom Blutfluß in den Karotiden oder in der Aorta. In den Koronargefäßen sind die Blutflußgeschwindigkeiten deutlich niedriger als in anderen arteriellen Gefäßabschnitten, der Blutfluß ist überwiegend laminar, und es besteht ein hohes Potential für Kollateralfuß. Obwohl die initialen Ergebnisse der Erfassung von Koronarstenosen vielversprechend waren [1, 2, 16], ist

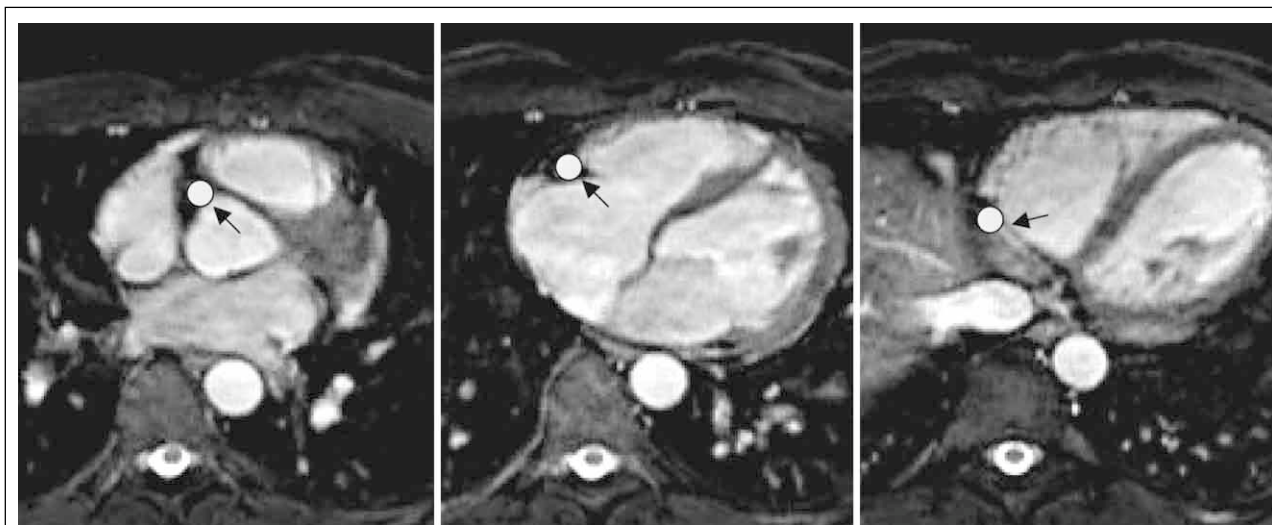
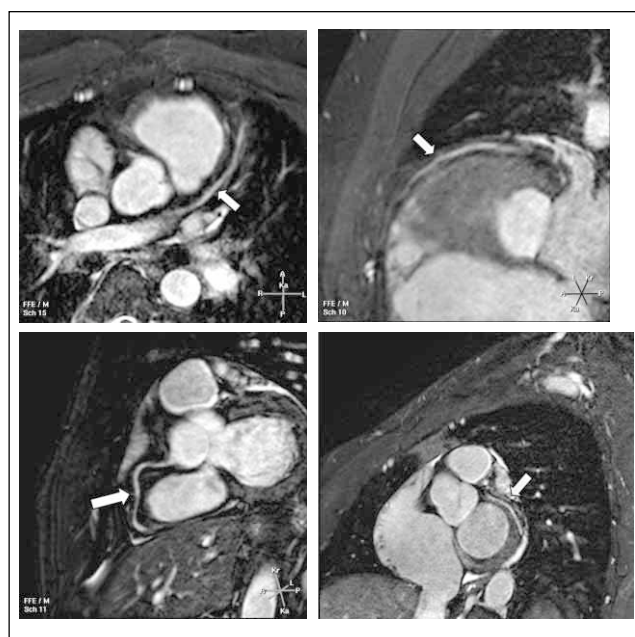
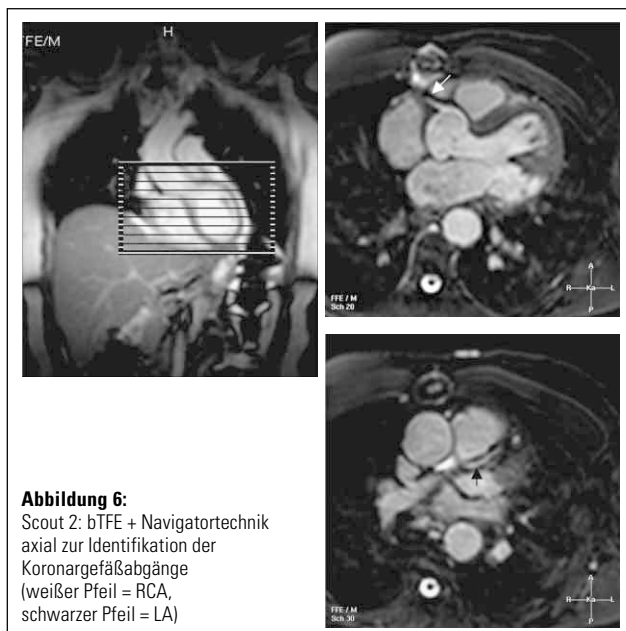


Abbildung 7: 3-Point-Planscan zur Darstellung der RCA im Längsschnitt

die CMRA der konventionellen Angiographie nach wie vor unterlegen. Die Problematik der Koronargefäßbeurteilung mittels MRT wird evident, wenn die räumliche Auflösung der Methode ($1,5 \times 1,0 \times 4,0$ mm) dem Koronargefäßdurchmesser von 2–4 mm gegenübergestellt wird. In einigen Studien zeigt die Lumendurchmesserbestimmung eine gute Korrelation zur Angiographie [22], allerdings neigt die CMRA dazu, den Gefäßdurchmesser etwas zu überschätzen. Dies ist am ehesten durch eine Kombination aus Partialvolumeneffekten und Bewegungsartefakten des Koronargefäßes („Blurring“) zu erklären. Normale Koronargefäße erscheinen bei der CMRA als signalreiche lineare Strukturen. Distal eines Verschlusses ohne Kollateralfluß wird nur das Signal vom umgebenden Gewebe dargestellt. Man erkennt jedoch gelegentlich eine flauere Gefäßkontur, die durch die Gefäßwand bedingt ist. Ein retrograder Fluß über Kollateralgefäße kann nicht von einem antegraden Blutfluß bei subtotaler Stenose unterschieden werden (Abb. 10). Umschriebene Stenosen können entweder als Signalauslöschung, reduziertes Flußsignal oder unregelmäßig begrenzte Gefäßverläufe imponieren. Diffus veränderte Gefäße (entsprechend Wandunregelmäßigkeiten im Röntgenangiogramm) können von normalen, kleinkalibrigen Gefäßen nicht unterschieden werden. So kann bei linksdominanter Versorgungstyp durch eine kleine RCA eine diffuse Koronar-

sklerose vorgetäuscht werden. Frauen mit kleinen Gefäßdurchmessern eignen sich daher aus anatomischen Gründen auf der Basis der zur Zeit verfügbaren Technik nicht für CMRA. Die bisher publizierten Studien geben eine maximale Sensitivität von 90 % und Spezifität von 92 % bei der Darstellung von signifikanten Koronarstenosen (> 50 % Lumen-einengung) für die proximalen Koronarabschnitte an [1]. Diese Daten sind allerdings von Zentrum zu Zentrum hoch variabel, was mit der Anwendung unterschiedlicher Untersuchungsprotokolle zusammenhängt.

Penell und Mitarbeiter fanden einen statistischen Zusammenhang zwischen dem Grad des Signalverlusts in einer definierten Stenose und dem angiographischen Schweregrad, es bestand aber eine beträchtliche Überlappung zwischen den einzelnen Schweregraden [8]. Penell konnte nachweisen, daß die MR-Angiographie zu einer Überschätzung der Stenosenlänge, bedingt durch poststenotische Turbulenz mit Signalauslöschung, neigt. Eine andere Studie von Hundley konnte zeigen, daß bei Patienten nach Myokardinfarkt die Stenose im infarktbezogenen Gefäß korrekt identifiziert werden konnte [28]. In einer rezenten Studie an Patienten mit Stentimplantation konnte erfolgreich das Blutflußsignal vor und nach dem Stentartefakt als Kriterium für Stentoffenheit angewendet werden [29].

Duerinckx und Mitarbeiter haben rezent ein Befundungsschema vorgeschlagen, das folgende Punkte umfaßt [30]:

1. Bildqualität
2. Länge und Durchmesser des Gefäßes
3. Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer signifikanten Stenose oder einer diffusen KHK (mit Hilfe von Konfidenzniveaus aus ROC-Kurven)
4. Inter- und Intraobservervariabilität des betreffenden MR-Labors

Alle bisher veröffentlichten Studien verglichen die diagnostische Wertigkeit der CMRA mit dem „Goldstandard“ der Röntgenangiographie, obwohl bekannt ist, daß der geschätzte oder gemessene Stenosegrad nicht der funktionellen Relevanz der Stenose entspricht und eine große Interobservervariabilität bei der Beurteilung von konventionellen Koronarangiogrammen besteht.

So zeigte eine Studie von Zir und Mitarbeitern 1976, daß 4 Untersucher (2 Radiologen, 2 Kardiologen) nur bei 65 % der Fälle eine Übereinstimmung bei der Bestimmung des Stenosegrades > 50 % erzielten [31]. Dieses Ergebnis ist um so bemerkenswerter, als alle 4 Untersucher von der gleichen Institution stammten und regelmäßig an gemeinsamen Befundungen teilnahmen. Gründe dafür bestehen in der begrenzten Anzahl von Standardprojektionen, der wechselnden Qualität von Angiogrammen und den Unterschieden im subjektiven Auffassungsvermögen. Auch die Einführung von (semi-)automatischen Auswerteprogrammen hat die Problematik nicht entschärft, da hier die Hauptschwierigkeit in der Definition des Referenzsegmentes besteht.

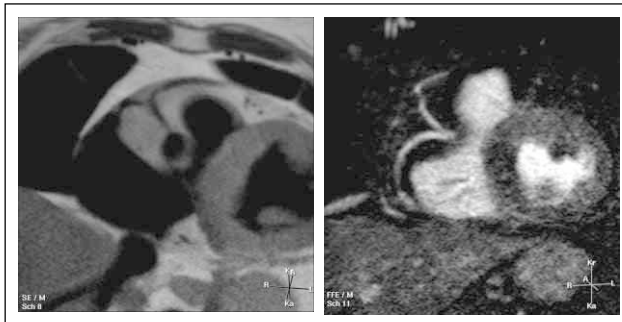


Abbildung 9: Koronargefäßanomalie mit Abgang der LCX aus der RCA. M2D-TSE (black blood) links, 3D-bTfE in Atemanhaltetechnik (bright blood) rechts

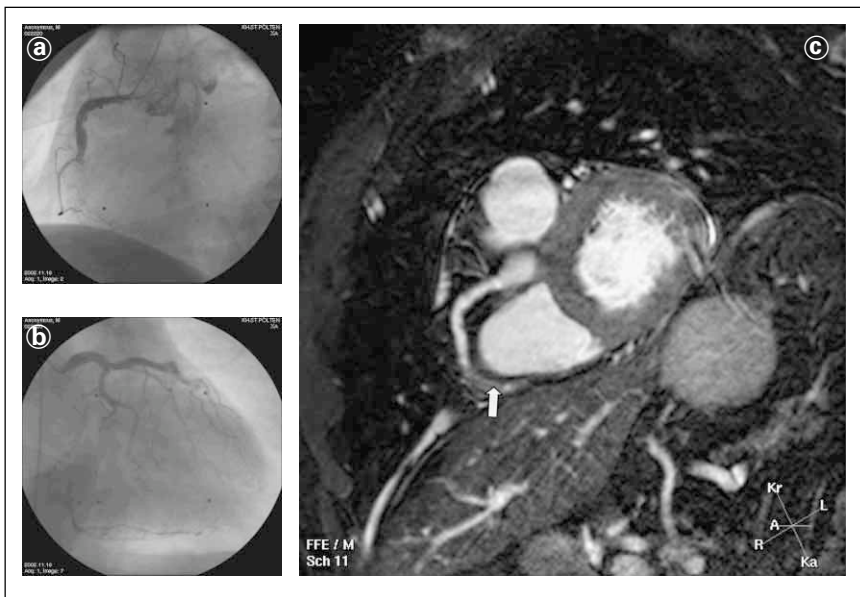


Abbildung 10: Patient mit kollateralem Verschuß der RCA. a) konventionelles Röntgenangiogramm der RCA; b) Konventionelles Röntgenangiogramm der LCA mit Kollateralen zur RCA; c) 3D-bTfE über das Verschlußloch hinaus (Pfeil)

■ CMRA von aortokoronaren Bypässen

Der relativ geradlinige Verlauf von Bypässen (Venenbypässe, Aa. mammaria interna) sowie das größere Lumen im Vergleich zu nativen Koronargefäßen erleichtern die Darstellung mittels CMRA. Die Anwesenheit von Blutfluß im Bypass erfolgt durch Nachweis einer Signalauslöschung auf Spinecho-Sequenzen [32] oder eines hellen Signales im Bypass auf Gradientenecho-Sequenzen [33]. Die Identifikation des Blutflusses auf zumindest 2 aufeinanderfolgenden axialen Schichten weist die Offenheit des Bypasses nach. Es wurden bereits mehrere Studien publiziert, die eine Sensitivität von 90–92 % für die Darstellung von offenen Bypässen und 72–85 % für die Diagnose verschlossener Bypässe aufweisen. Es muß natürlich an dieser Stelle erwähnt werden, daß der Nachweis eines offenen Bypasses alleine für die postoperative Diagnostik nicht ausreichend ist und die exakte Darstellung von Stenosen vorläufig der Röntgenangiographie vorbehalten bleiben muß. Durch Anwendung von intravenösem Kontrastmittel gelingt es, die Sensitivität der Methode auf 95 bis 100 % zu steigern [34]. Es ist allerdings anzumerken, daß metallische Clips oder Marker zu einer Artefaktbildung führen, die eine Beurteilung des Gefäßes oft unmöglich machen.

■ Kritische Bemerkungen zur CMRA und Ausblick in die Zukunft

Die meisten klinischen Vergleichsstudien mit konventioneller Röntgenangiographie wurden mit 2-D-segmentierten Gradientenecho-Sequenzen in Atemanhalte-Technik der 1. Generation durchgeführt. Das Tempo der technischen Entwicklung der MRT hat sich so rasant gesteigert, daß neue Pulssequenzen nur von wenigen Arbeitsgruppen evaluiert werden können, bis die nächste Entwicklungsstufe erreicht ist. Obwohl die Darstellung von Koronarstenosen die am häufigsten öffentlich diskutierte Anwendung ist und die Entwicklung fast schon ein Jahrzehnt umfaßt, hat die Methode nicht annähernd die Sensitivitätswerte der konventionellen Koronarangiographie erreicht. Darüber hinaus wurde die CMRA von Beginn an als möglicher nichtinvasiver Ersatz der Röntgenangiographie angepriesen und damit eine zu hohe Erwartungshaltung erzeugt. Es ist daher notwendig, zu einer realistischen Einschätzung der Methode zu gelangen, wobei derzeitige Sensitivitätsdaten von 70–90 % bei proximalen Läsionen durchaus ein Entwicklungspotential erkennen und eine Weiterentwicklung sinnvoll erscheinen lassen. In jedem Fall versprechen neue und schnellere Techniken, verbessertes Postprocessing, ein steigendes Interesse der Kliniker, die Entwicklung spezifischer Herz-MR-Geräte sowie die Anwendung gefäßselektiver Kontrastmittel eine weitere Verbreitung und baldige klinische Anwendung der Methode.

Literatur

- Manning WJ, Li W, Edelman RR. A preliminary report comparing magnetic resonance coronary angiography with conventional angiography. *N Engl J Med* 1993; 328: 828–32.
- Manning W, Edelman R. Magnetic resonance coronary angiography. *Magn Reson Q* 1993; 9: 131–51.
- Duerinckx AJ, Uрман M. Two-dimensional coronary MR angiography: analysis of initial clinical results. *Radiology* 1994; 193: 731–8.
- Manning WJ, Edelman RR. Coronary MR angiography [Letter to the Editor]. *Radiology* 1995; 195: 875.
- Duerinckx AJ. Coronary MR angiography [Response-to-Letter-to-the-Editor]. *Radiology* 1995; 195: 876.
- Post JC, van Rossum AC, Hofman MB, et al. Three-dimensional respiratory-gated MR angiography of coronary arteries: comparison with conventional coronary angiography. *Am J Roentgenol* 1996; 166: 1399–404.
- Duerinckx AJ, Atkinson DP, Mintorovich J, et al. Two-dimensional coronary MR angiography: Limitations and artifacts. *Eur Radiol* 1996; 6: 312–25.
- Pennell DJ, Bogren HG, Keegan J, et al. Assessment of coronary artery stenosis by magnetic resonance imaging. *Heart* 1996; 75: 127–33.
- Nitatori T, Hanaoka H, Yoshino A, et al. Clinical application of magnetic resonance angiography for coronary arteries: correlation with conventional angiography and evaluation of imaging time. *Nippon Acta Radiol* 1995; 55: 670–6.
- Liu YL, Riedere SJ, Rossmann PJ, et al. A monitoring, feedback and triggering system for reproducible breath-hold MR imaging. *Magn Reson Med* 1993; 30: 507–11.
- Sandstedt JJ, Pabst T, Beer M, et al. Three-dimensional MR coronary angiography using the navigator technique compared with conventional coronary angiography. *AJR* 1999; 172: 135–9.
- van Geuns RJ, Wielopolski PA, de Bruin HG, et al. Magnetic resonance imaging of the coronary arteries: clinical results from three dimensional evaluation of a respiratory gated technique. *Heart* 1999; 82: 515–9.
- Stehling M. Coronary arteries: experience with navigator echoes. [Abstract]. In: VIII International Workshop on Magnetic Resonance Angiography. Rome, Italy, October 16–19, 1996.
- Hu BS, Meyer CH, Macovski A, et al. Multi-slice spiral magnetic resonance coronary angiography (Abstract). In: Book of Abstracts of the 4th Meeting of the International Society of Magn Reson Med (ISMRM) Vol 1. New York, NY, April 27–May 3, 1996: 671.
- Li D, Kaushikkar S, Haacke EM, et al. Coronary arteries: three-dimensional MR imaging with retrospective respiratory gating. *Radiology* 1996; 201: 857–63.
- Manning WJ, Li W, Boyle NG, et al. Fat-suppressed breath-hold magnetic resonance coronary angiography. *Circulation* 1993; 87: 94–104.
- Botnar RM, Stuber M, Danias PG, et al. Improved coronary artery definition with T2-weighted, free-breathing, three-dimensional coronary MRA. *Circulation* 1999; 99: 3139–48.
- Stuber M, Botnar RM, Danias PG, et al. Double-oblique free-breathing high resolution three-dimensional coronary magnetic resonance angiography. *J Am Coll Cardiol* 1999; 34: 524–31.
- Hofman MB, Paschal CB, Li D, et al. MRI of coronary arteries: 2D breath-hold vs 3D respiratory-gated acquisition. *J Comput Assist Tomogr* 1995; 19: 56–62.
- Paschal CB, Haacke EM, Adler LP. Three-dimensional MR imaging of the coronary arteries: preliminary clinical experience. *J Magn Reson Imaging* 1993; 3: 491–500.
- Post JC, van Rossum AC, Hofman MB, et al. Three-dimensional respiratory-gated MR angiography of coronary arteries: comparison with conventional coronary angiography. *Am Roentgenol* 1996; 166: 1399–404.
- Scheidegger MB, Muller R, Boesiger P. Magnetic resonance angiography: methods and its applications to the coronary arteries. *Technol Health Care* 1994; 2: 255–65.
- Cheitlin MD, De Castro CM, McAllister HA. Sudden death as a complication of anomalous left coronary origin from the anterior sinus of Valsalva: a not-so-minor congenital anomaly. *Circulation* 1974; 50: 780–7.
- Leberthson RR, Dinsmore RE, Bharati S, et al. Aberrant coronary artery origin from the aorta. Diagnosis and clinical significance. *Circulation* 1974; 50: 774–9.
- Post JC, van Rossum AC, Bronzwaer JGF, et al. Magnetic resonance angiography of anomalous coronary arteries. A new gold standard for delineating the proximal course? *Circulation* 1995; 92: 3163–71.
- McConnell MV, Ganz P, Selwyn AP, et al. Identification of anomalous coronary arteries and their anatomic course by magnetic resonance coronary angiography. *Circulation* 1995; 92: 3158–62.
- Le T, Laskey WK, McLaughlin, et al. Utility of magnetic resonance imaging in a patient with anomalous origin of the right coronary artery, acute myocardial infarction, and near-sudden cardiac death. *Cathet Cardiovasc Diagn* 1997; 42: 205–7.
- Hundley WG, Clarke GD, Landau C, et al. Noninvasive determination of infarct artery patency by cine magnetic resonance angiography. *Circulation* 1995; 91: 1347–53.
- Sardanell F, Zandrino F, Molinari G, et al. Magnetic resonance evaluation of coronary stents with navigator echo and breath-hold cine gradient-echo technique. *Eur Radiol* 2002; 12: 193–200.
- Duerinckx AJ. Imaging of coronary artery disease-MR. *J Thorac Imaging* 2001; 16: 25–34.
- Zir LM, Miller SW, Dinsmore RE, et al. Interobserver variability in coronary angiography. *Circulation* 1976; 53: 627–33.
- White RD, Caputo GR, Mark AS, et al. Coronary artery bypass graft patency: noninvasive evaluation with MR imaging. *Radiology* 1987; 164: 681–6.
- Galjee MA, van Rossum AC, Doesburg T, et al. Value of magnetic resonance imaging in assessing patency and function of coronary artery bypass grafts: an angiographically controlled study. *Circulation* 1996; 93: 660–6.
- Vrachliotis TG, Bis KG, Aliabadi D, et al. Contrast-enhanced breath-hold MR angiography for evaluating patency of coronary artery bypass grafts. *Am J Roentgenol* 1997; 168: 1073–80.

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

☒ Medizintechnik-Produkte



Neues CRT-D Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ Bestellung e-Journal-Abo

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)