

Radiologie up2date

4 · 2018

Pulmonale und kardiovaskuläre Radiologie 5

# Nicht invasive MR-Angiografien der großen und kleinen herznahen Gefäße

*Kai Müllerleile  
Gunnar K. Lund*

VNR: 2760512018154652671  
DOI: 10.1055/a-0657-7046  
Radiologie up2date 2018; 18 (4): 363–374  
ISSN 1616-0681  
© 2018 Georg Thieme Verlag KG

## Unter dieser Rubrik sind bereits erschienen:

**Periphere MR-Angiografie** H. Kramer, K.-F. Kreitner  
Heft 2/2018

**MR-Neurografie – eine Einführung** G. Andreisek, A. Chhabra  
Heft 1/2018

**Neue Möglichkeiten der Ischämiediagnostik: CT-FFR und CT-Perfusion** L. Lehmkühl, C. Krieghoff, M. Gutberlet  
Heft 4/2017

**Staging des Lungenkarzinoms nach der revidierten TNM-Klassifikation** J. Niehoff, S. Diederich, A. Höink  
Heft 4/2017

**Management des pulmonalen Rundherdes** C. Schaefer-Prokop  
Heft 4/2017

**Diagnostik und Therapie akuter Erkrankungen der thorakalen Aorta** S. Schotten, M. B. Pitton Heft 3/2017

**Lungenarterienembolie** S. Sudarski, T. Henzler Heft 3/2016

**Abklärung, Bildgebung und Differenzialdiagnose bei Myokarditis** J. Luetkens, C. Nähle, J. Dörner Heft 1/2016

**Kardiale MRT bei Patienten mit angeborenen Herzfehlern** K.-F. Kreitner, L. Kaufmann, E. Sorantin Heft 2/2015

**Therapieinduzierte Veränderungen von Lunge und Pleura bei onkologischen Patienten** S. Diederich, A. Giagounidis  
Heft 4/2014

**Kardiale CT beim akuten Koronarsyndrom** C. Schlett, H. Alkadhi, F. Bamberg Heft 3/2014

**Update der idiopathischen interstitiellen Pneumonien** K. Marten-Engelke Heft 2/2014

**Staging und Therapiemonitoring maligner Lymphome** J. Stattaus Heft 2/2014

**Radiologische Diagnostik der pulmonalen Tuberkulose und der nicht typischen Mykobakteriosen** E. Eisenhuber, H. Prosch, G. Mostbeck Heft 4/2013

**Pulmonale Hypertonie – radiologische Diagnostik im klinischen Kontext** S. Ley Heft 2/2012

**MRT bei Kardiomyopathien – eine praxisorientierte Anleitung zur Untersuchung und Befundung** J. Hägele, P. Hunold, J. Barkhausen Heft 1/2012

**Radiologische Diagnostik bei COPD** M. Owsijewitsch, J. Ley-Zaporozhan, M. Eichinger Heft 1/2011

**Medikamenteninduzierte Lungenveränderungen** C. Schaefer-Prokop, E. Eisenhuber Heft 4/2010

**Radiologische Diagnostik bei akutem Thoraxschmerz** N. Kawel, J. Bremerich Heft 3/2010

**Pneumonien bei Immunsuppression** V. Jacobi, T. Lehnert, A. Thalhammer Heft 4/2009

**Ganzkörper-MR-Angiografie** H. Kramer, K. Nikolaou, M. Reiser  
Heft 3/2009

**Radiologische Diagnostik der Pleura** S. Diederich, D. Wormanns Heft 2/2009

**CT-Diagnostik der koronaren Herzkrankheit** C. Becker  
Heft 3/2008

**Zentralvenöse Katheter: Diagnostik von Komplikationen und therapeutische Optionen** B. Gebauer, A. Beck, H.-J. Wagner  
Heft 2/2008

**CT-Diagnostik der koronaren Herzkrankheit** C. Becker  
Heft 1/2008

**Pulmonale Manifestationen bei systemischen Vaskulitiden** M. Reuter, M. Both, A. Schnabel Heft 2/2007

**Grundmuster im CT der Lunge und ihre Differenzialdiagnose** V. Jacobi, A. Thalhammer Heft 4/2006

**Differenzialdiagnose mediastinaler Raumforderungen** C. von Falck, N. Weingärtner Heft 3/2006

**Staging des Bronchialkarzinoms mit bildgebenden Verfahren** S. Diederich Heft 1/2006

### ALLES ONLINE LESEN



Mit der eRef lesen Sie Ihre Zeitschrift: online wie offline, am PC und mobil, alle bereits erschienenen Artikel. Für Abonnenten kostenlos!  
<https://eref.thieme.de/radio-u2d>

### JETZT FREISCHALTEN



Sie haben Ihre Zeitschrift noch nicht freigeschaltet? Ein Klick genügt:  
[www.thieme.de/eref-registrierung](http://www.thieme.de/eref-registrierung)

# Nicht invasive MR-Angiografien der großen und kleinen herznahen Gefäße

Kai Müllerleile, Gunnar K. Lund



Die kardiovaskuläre MRT ist ein mittlerweile im klinischen Alltag etabliertes diagnostisches Instrument bei vielen kardiovaskulären Fragestellungen. Ein wichtiges Werkzeug sind hierbei verschiedene Methoden zur MR-Angiografie (MRA), die invasive oder CT-Angiografien (CTA) zum Teil bereits ersetzen konnten. Diese Arbeit gibt einen Überblick über die wichtigsten klinischen Anwendungen der MRA im Bereich der herznahen Gefäße.

## MRT-Techniken zur Angiografie

Dieser Fall illustriert, wie sich verschiedene MRA-Techniken in die kardiovaskuläre Diagnostik mittels MRT einfügen.

### Kontrastmittelverstärkte MRA

Die klassische dreidimensionale kontrastmittelverstärkte MRA mit schnellen Gradientenechosequenzen ist in der MRT die Referenzmethode zur Angiografie [1, 2]. Analog zur CTA wird bei diesem Ansatz ein Kontrastmittelbolus verwendet, um die Gefäße deutlich vom umliegenden Gewebe abgrenzen zu können. Den optimalen Zeitpunkt der Datenakquisition für das Zielgefäß („Timing“) bestimmt man wie in der CTA mit klassischen Verfahren wie dem automatischen „Bolus-Tracking“ oder dem „Test-Bolus“. Bei speziellen MRA-Varianten wird – ähnlich wie bei einer invasiven Angiografie – das Anfluten eines Kontrastmittelbolus kontinuierlich über die Zeit verfolgt, wodurch man verschiedene arterielle und venöse Phasen im selben Datensatz beurteilen kann. Die akquirierten dreidimensionalen Datensätze lassen sich dann mit verschiedenen Methoden nachbearbeiten:

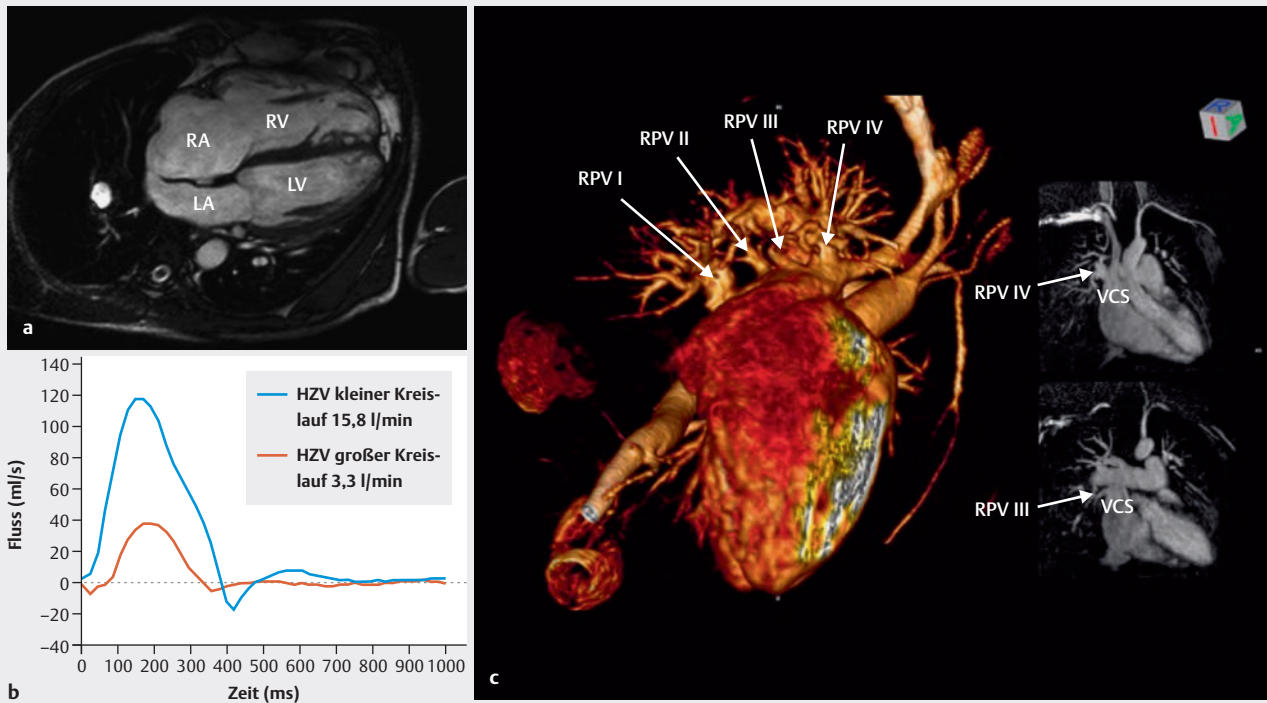
- Optisch ansprechende Maximum-Intensity-Projektionen (MIP) oder Volume-Rendering-Rekonstruktionen eignen sich zwar gut für einen anatomischen Überblick oder Befundpräsentationen, aber nicht für quantitative Analysen [3].
- Für die eigentlichen Messungen verwendet man Bilder, die mittels sog. multiplanarer Reformatierungen (MPR) aus dem gemessenen 3-D-Datensatz erzeugt werden und so ausgerichtet sind, dass Gefäßdurchmesser „anatomisch korrekt“, also senkrecht zum Blutstrom an definierten Stellen gemessen werden können (► **Abb. 2**) [3].

Für eine kontrastmittelverstärkte MRA verwendet man in erster Linie gadoliniumhaltige, extrazelluläre Kontrast-

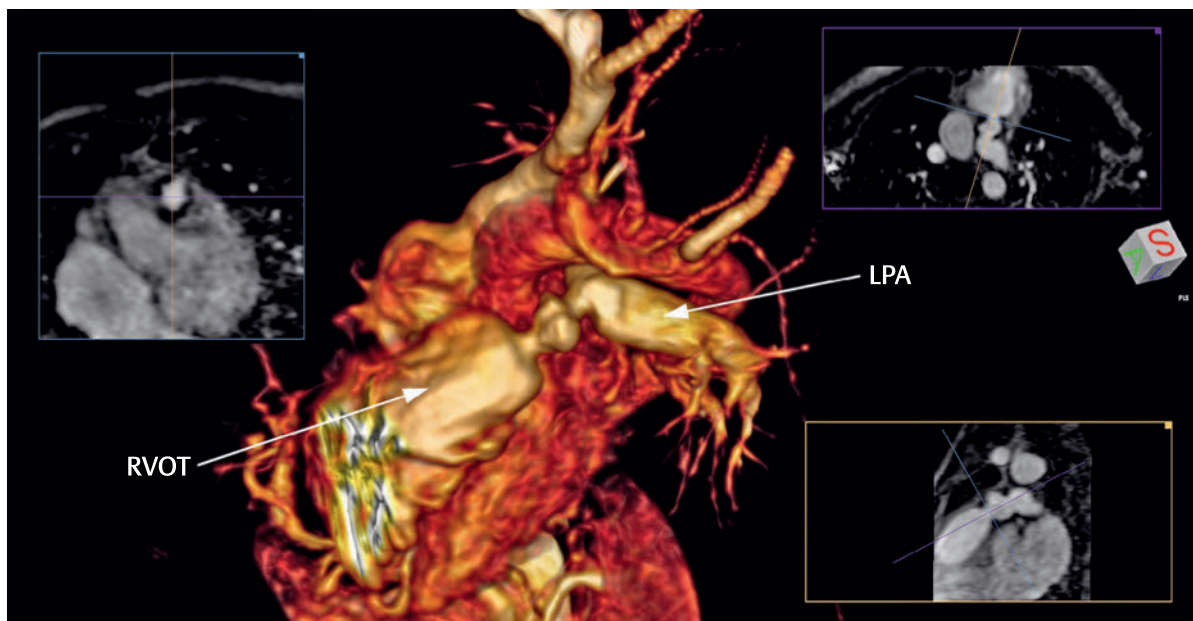
### FALLBEISPIEL

Eine Patientin klagte bei ihrem Hausarzt über Arrhythmien. Dieser veranlasste daraufhin eine Echokardiografie, bei der sich das rechte Herz vergrößert darstellte. Es wurde die Indikation zur Kardio-MRT gestellt. Die beiden wichtigsten Differenzialdiagnosen bei dieser Konstellation sind die arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC) und Shuntvitien mit Links-rechts-Shunt. In der Cine-MRT bestätigte sich die echokardiografisch gesehene Dilatation des rechten Herzens bei normal dimensioniertem linkem Herzen. Im nächsten Schritt wurden Flussmessungen über der Aorten- und Pulmonalklappe durchgeführt, um die jeweiligen Schlagvolumina bzw. Herz-Zeit-Volumina (HZV) zu vergleichen. Dadurch konnte bei der Patientin ein relevanter Links-rechts-Shunt nachgewiesen werden. Um diesen zu lokalisieren – wobei grundsätzlich intra- und extrakardiale Shunts berücksichtigt werden müssen – wurde das Verfahren der kontrastmittelverstärkten MRA eingesetzt und dabei ein Sinus-venosus-Defekt mit 2 fehlmündenden Pulmonalvenen nachgewiesen (► **Abb. 1**).

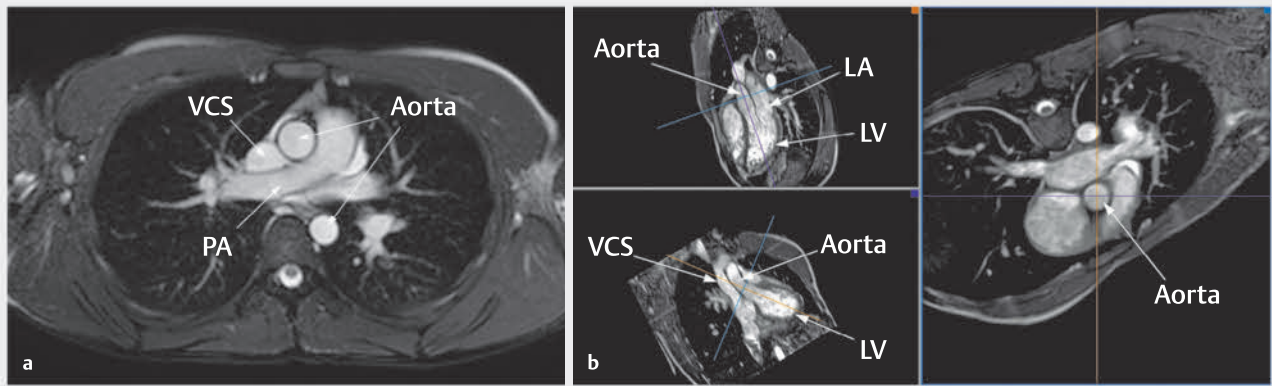
mittel. Diese weisen eine im Vergleich zu jodhaltigen Röntgenkontrastmitteln sehr niedrige Rate akuter unerwünschter Wirkungen auf [4]. Allerdings zeigte sich in den letzten Jahren, dass es zumindest bei bestimmten, instabileren Verbindungen nach wiederholten Gaben zu dauerhaften Ablagerungen von Gadolinium in Organen wie der Haut oder dem Gehirn kommen kann [5]. Obwohl für Ablagerungen von Gadolinium in bestimmten Hirnstrukturen bisher keinerlei negative Effekte für den Patienten nachgewiesen werden konnten, erscheint es sinnvoll, möglichst wenig und möglichst stabile gadoliniumhaltige MRT-Kontrastmittel zu verwenden oder kontrastmittelfreie MRA-Techniken zu nutzen [6]. Dies ist insbesondere für Patienten von Bedeutung, bei denen



► **Abb. 1** Beispiel der Abklärung einer unklaren Rechtsherzvergrößerung mittels Kardio-MRT. **a** In der Cine-MRT vergrößerter rechter Ventrikel (RV) und rechter Vorhof (RA) bei normal dimensioniertem linkem Ventrikel (LV) und linkem Vorhof (LA). **b** Nachweis eines Links-rechts-Shunts durch Flussmessung mit HZV im Lungenkreislauf von 15,8 l/min im Vergleich zu 3,3 l/min im Systemkreislauf. **c** Sinus-venosus-Defekt in der kontrastmittelverstärkten MRA mit 2 korrekt in den linken Vorhof mündenden Pulmonalvenen (RPV I und RPV II) und 2 fehlmündenden Pulmonalvenen direkt im Bereich eines hohen Vorhofseptumdefekts (RPV III) sowie weiter kranial (RPV IV) in die V. cava superior (VCS).



► **Abb. 2** Beispiel der Rekonstruktionsmöglichkeiten einer kontrastmittelverstärkten MRA der Pulmonalarterie. Für die Übersicht und Präsentation lassen sich Oberflächen einzelner Strukturen des akquirierten 3-D-Datensatzes z. B. mittels der „Volume-Rending“-Technik wie zentral in diesem Bild optisch ansprechend visualisieren (RVOT = rechtsventrikulärer Ausflusstrakt, LPA = linke Pulmonalarterie). Die eigentlichen Messungen werden aber anhand multiplanarer Reformatierungen (MPR) durchgeführt. Hierbei werden die Zielstrukturen – wie in diesem Fall die stenosierte Pulmonalarterie – in beliebigen Orientierungen rekonstruiert (hier violetter Kasten rechts oben und gelber Kasten rechts unten im Bild) und hierdurch eine anatomisch korrekte Quantifizierung des Gefäßlumens ermöglicht (blauer Kasten links oben im Bild).



► **Abb. 3** Beispiel der Rekonstruktionsmöglichkeiten einer kontrastmittelfreien MRA. **a** Exemplarische transversale Schicht aus einem in Atem-anhaltetechnik mittels einer bSSFP-Sequenz akquirierten 3-D-Datensatz des Thorax. Bei mittels bSSFP-Sequenzen erzeugten MRT-Bildern kommen sowohl die arteriellen Gefäße wie hier die Aorta und die Pulmonalarterien (PA) als auch die venösen Gefäße wie hier die V. cava superior (VCS) signalreich, also hell zur Darstellung. **b** Der 3-D-Datensatz kann anschließend wie ein konventionell mittels einer kontrastmittelverstärkten MRA erzeugter Datensatz nachverarbeitet werden. Trotz einer geringeren Ortsauflösung können hier ebenso MPR-Schichten frei im Raum ausgerichtet und anhand zweier Ebenen (oranjer Kasten links oben und violetter Kasten links unten) anatomisch korrekte Gefäßquerschnitte (blauer Kasten rechts im Bild) hergestellt werden, um senkrecht zum Blutstrom orientierte Messungen der Gefäßdurchmesser durchführen zu können.

die MRA wie z.B. bei Verlaufskontrollen eines Aortenaneurysmas absehbar regelmäßig wiederholt werden muss.

#### Merke

Die kontrastmittelverstärkte MRA stellt weiter die Referenzmethode zur Gefäßdarstellung in der MRT dar.

### Kontrastmittelfreie MRA-Techniken

Die MRT bietet verschiedene Sequenzen zur kontrastmittelfreien Gefäßdarstellung. Bei der klassischen TOF-MRA (TOF = „Time-of-Flight“) wird das Signal von stationärem Gewebe im Vergleich zu strömendem Blut unterdrückt, wodurch die Gefäße signalreich und der Hintergrund signalarm dargestellt werden. Nachteile der TOF-MRA sind eine lange Messdauer und die Anfälligkeit für Bewegungsartefakte, sodass diese Methode zwar in der Neurologie Standard ist, bei den sich in mehreren Dimensionen bewegenden thorakalen Gefäßen aber nur eingeschränkt eingesetzt werden kann. Im Gegensatz hierzu lassen sich mittels **bSSFP-Sequenzen** (bSSFP = „balanced steady-state free precession“) sowohl arterielle als auch venöse Gefäße sehr schnell und damit innerhalb von Atemanhaltenmanövern signalreich, also hell im Bild darstellen. ► **Abb. 3** zeigt ein Beispiel, wie sich solche in wenigen Sekunden erhobenen bSSFP-Datensätze ähnlich wie klassische, kontrastmittelverstärkte Datensätze in diagnostisch ausreichender Qualität für die Befundung nachbearbeiten lassen. Diese Variante der Gefäßdarstellung hat sich auch aufgrund der robusten Bildqualität in vielen Bereichen zur Standardmethode für die kontrastmittelfreie Darstellung der thorakalen Gefäßanatomie und deren Beziehung zu umliegenden Strukturen entwickelt [1,2]. Bei bestimmten Fragestellungen wie dem

Verdacht auf eine Vaskulitis bieten sich dagegen **„Black-Blood“-Techniken** an, bei denen die Signalintensität des Blutes niedrig ist. Ziel ist hierbei weniger die Beurteilung des Gefäßlumens als die Beschaffenheit der Gefäßwand [7,8].

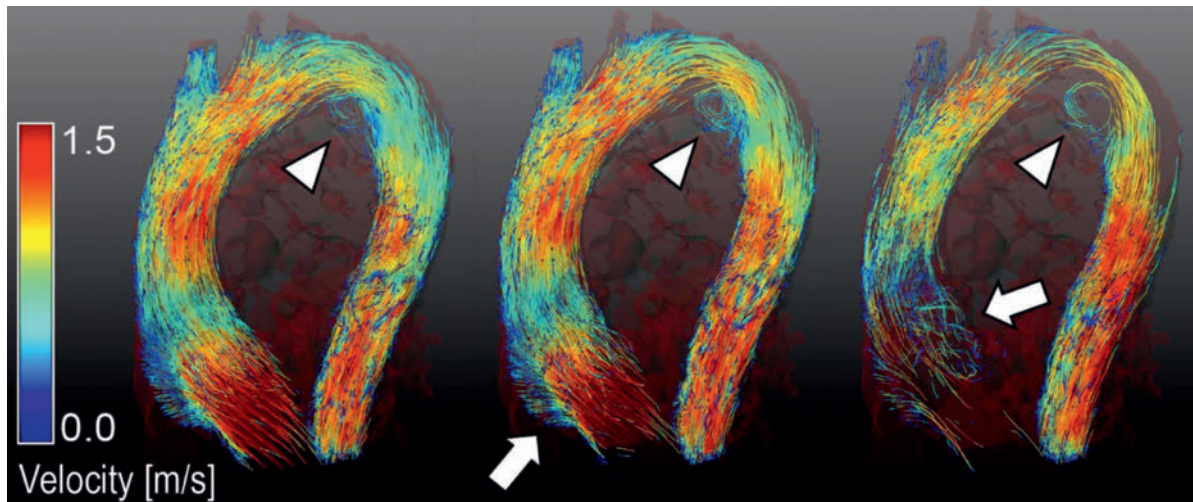
#### Merke

Für viele Fragestellungen stehen kontrastmittelfreie MRA-Techniken zur Verfügung, durch die eine Gabe von gadoliniumhaltigen Kontrastmitteln vermieden werden kann.

### Flussmessungen mittels Phasenkontrast-MRA

Eine spezielle Variante der kontrastmittelfreien MRA ist die Phasenkontrast-MRA. Durch eine spezielle Gradientenschaltung wird das Bild bei diesem Verfahren für durch die Schicht fließendes Blut empfindlich gemacht. Wesentliche Vorteile gegenüber Ultraschalltechniken sind die freie Wahl der Schichtorientierung und die Möglichkeit, nicht nur Flussgeschwindigkeiten, sondern auch direkt Flussvolumina durch die Schicht zu messen. Diese Technik ist daher besonders attraktiv, wenn es um die Quantifizierung von Flussvolumina wie z.B. bei Shuntvitien (► **Abb. 1**) geht. Für diese Fragestellung ist die MRT invasiven und echokardiografischen Verfahren überlegen und kann diese in vielen Fällen der klinischen Routine vollständig ersetzen [1,9,10]. Eine vielversprechende neuere Anwendung sind 4-D-Flussmessungen (► **Abb. 4**). Hierbei werden Flussgeschwindigkeiten in multiplen Richtungen über die Zeit z.B. in der thorakalen Aorta gemessen. So können auch komplexe Strömungsmuster visualisiert und analysiert werden. Zukünftig können damit z.B. Schlaganfallquellen in der Aorta identifiziert werden. Allerdings sind 4-D-Flussmessungen bisher durch den





► **Abb. 4** Beispiel einer 4-D-MRT-Flussmessung der Aorta. Der aortale Blutfluss wird in der frühen (links), mittleren (Mitte) und späten (rechts) Systole bei einem Marfan-Patienten mit lokalisierter anuloortaler Ektasie dargestellt. Die Flussgeschwindigkeit und die Blutflussprofile sind durch farbcodierte „Streamlines“ visualisiert. In der Aorta ascendens lässt sich statt eines physiologischen laminaren Strömungsprofils ein pathologischer helikaler Fluss (Pfeile) nachweisen. Darüber hinaus zeigt sich in der proximalen deszendierenden Aorta ein Strömungswirbel (Pfeilspitze). Von der Analyse solcher pathologischer Strömungsmuster in der Aorta, aber auch anderer Gefäße, wird z. B. zukünftig erwartet, Risikopatienten für Komplikationen wie eine Aortendissektion oder aber auch Emboliequellen für Schlaganfälle besser identifizieren zu können. Bild mit freundlicher Genehmigung überlassen von Herrn PD Dr. Peter Bannas, Klinik und Poliklinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf, Hamburg.

hohen Zeitbedarf sowohl bei der Datenakquisition als auch der Datenanalyse limitiert, sodass es sich bisher noch nicht um eine klinische Routineanwendung handelt [11].

#### Merke

Die Phasenkontrast-MRA ist eine MRT-Technik zur Quantifizierung von Blutflussgeschwindigkeiten bzw. -volumina, die z. B. bei der Quantifizierung von Shuntvitien andere Methoden bereits vollständig ersetzen kann.

## Klinische Anwendungen

### MR-Koronarangiografie

Bei der MR-Koronarangiografie kommen sowohl kontrastmittelverstärkte als auch kontrastmittelfreie Techniken zur Anwendung. Insbesondere die Koronarostien können hierdurch zuverlässig dargestellt und im Hinblick auf eine Abgangs anomalie beurteilt werden [1,9,10]. Daher wird die MR-Koronarangiografie in den Konsensusempfehlungen der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) und Deutschen Gesellschaft für Kardiologie – Herz- und Kreislaufforschung (DGK) auch neben der CT-Koronarangiografie als eine der Methoden der Wahl zur Diagnostik von Koronar anomalien eingestuft [9].

► **Abb. 5** zeigt ein Beispiel für eine kontrastmittelfreie MR-Koronarangiografie bei einem Patienten mit Koronar anomalie. Für die Identifizierung von Abgangs anomalien der Koronararterien ist somit mittlerweile keine invasive

oder CT-Koronarangiografie mehr erforderlich. Dies sollte im klinischen Alltag vor allem bei jungen Patienten berücksichtigt werden, bei denen die Vermeidung von Röntgenstrahlung eine besondere Bedeutung hat. Für die Diagnostik von Koronarstenosen ist die MR-Koronarangiografie im klinischen Alltag – aufgrund der kleinen Gefäßdurchmesser und der starken Bewegungen der Koronararterien durch die Myokardkontraktion – nicht ausreichend genau. Die Angiografie zur Diagnostik einer koronaren Herzerkrankung wird daher weiterhin nicht empfohlen und bleibt im klinischen Alltag der CT und invasiven Koronarangiografie vorbehalten [9].

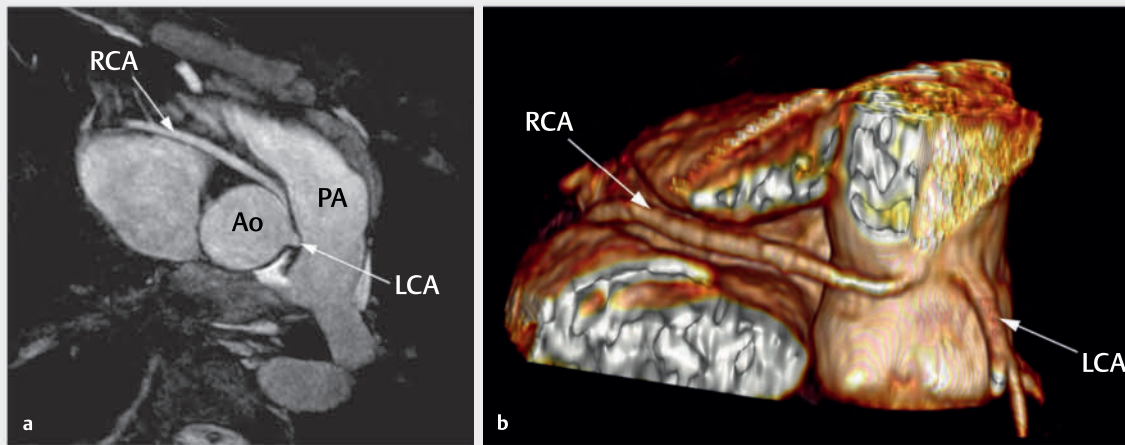
#### Merke

Die MR-Koronarangiografie erlaubt eine sichere Beurteilung von Abgangs anomalien, aber keine Koronar diagnostik bei Verdacht auf koronare Herzerkrankung.

### MR-Aortografie

Die MRA ist in den gültigen Leitlinien für Aortenerkrankungen als diagnostisches Standardverfahren enthalten. Aortenerkrankungen sind eine der häufigsten Indikationen für eine MRA [12].

Ein Großteil der Fragestellungen macht die Diagnostik und Verlaufsbeurteilung von Aortenaneurysmen aus (► **Abb. 6a**), bei denen sich insbesondere für Verlaufsbeurteilungen bei jungen Patienten auch die kontrastmittelfreien MRA-Techniken ohne relevanten Genauigkeitsverlust anbieten [1,2,12]. Neben dem etwas größeren



► **Abb. 5** MR-Koronarangiografie bei Koronaromalie eines jungen Patienten mit bikuspidaler Aortenklappe. Darstellung mittels einer SSFP-Sequenz ohne Kontrastmittel. Für die hier erforderlichen höheren Ortsauflösungen und Messung in definierten Herzphasen werden solche Messungen neben der EKG-Triggerung bei freier Atmung durch sog. Navigatormessungen gesteuert, die vor-eingestellte Atemlagen anhand der Zwerchfellposition identifizieren und dann die Messung auslösen. Bei diesem Patienten zeigte sich ein hoher, „tubulärer“ Abgang der linken (LCA) und rechten (RCA) Kranzarterie aus der Aorta (Ao) kranial der in diesem Falle fusionierten rechts- und linkskoronaren Tasche. **a** Die MPR zeigt besonders deutlich das „schlitzförmig“ wirkende Ostium der RCA und deren enge Lagebeziehung zur Pulmonalarterie, was als „potenziell maligne“ Koronaromalie wegen einer möglichen Abscherung bzw. Kompression der ostialen RCA durch eine Dehnung von Aorta und Pulmonalarterie unter Belastung beschrieben wird. **b** Die „Volume-Rending“-Rekonstruktion mit Blick auf die Aortenwurzel „von der Pulmonalarterie aus“ zeigt den tubulären Abgang direkt oberhalb der Raphe zwischen der fusionierten links- und rechtskoronaren Tasche besonders gut. Solche Darstellungen können insbesondere im Rahmen der präoperativen Planung dem Operateur wertvolle Hinweise für die Operationsstrategie liefern.

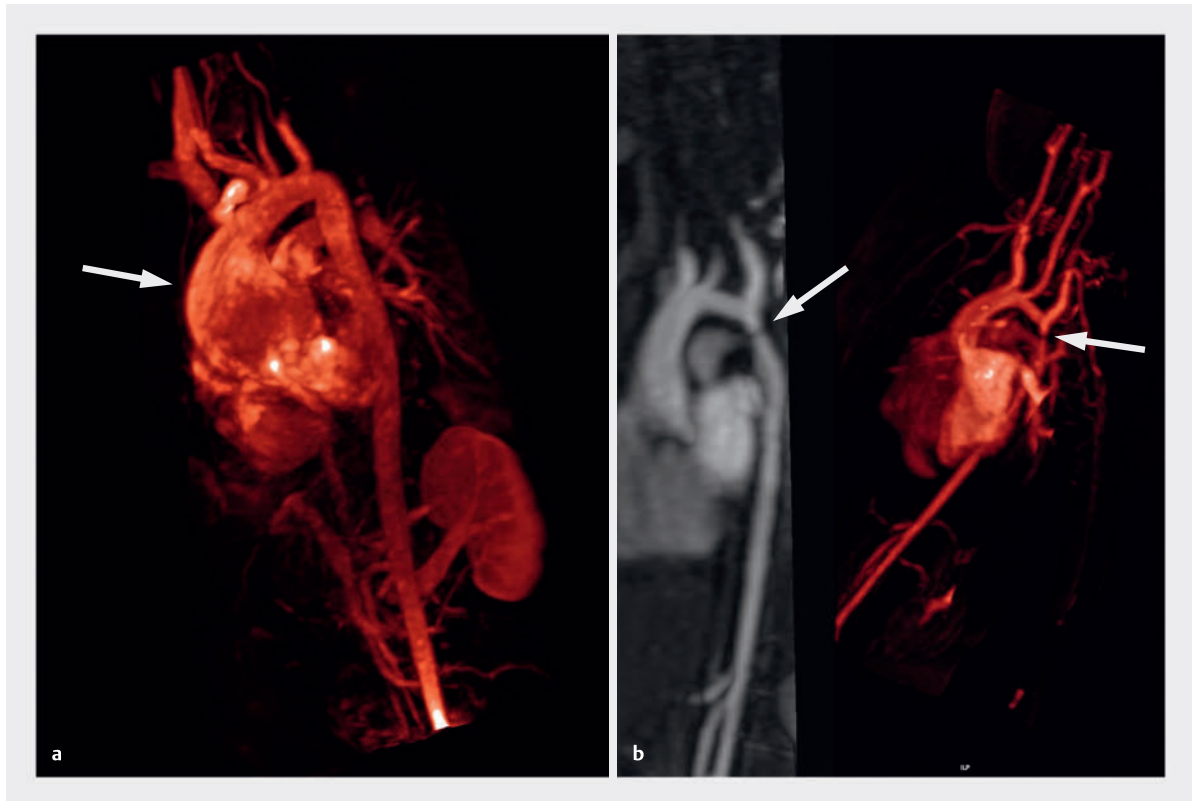
Zeitaufwand für die Untersuchung ist die Beurteilung von Kalzifizierungen eine der wenigen Limitationen der MRA im Vergleich zur CTA. Für die Beurteilung der Aortenwurzel sind „Cine-MRT“-Aufnahmen von Bedeutung, bei denen über den gesamten Herzzyklus Bilder akquiriert werden, sodass analog zur Echokardiografie gezielt in Diastole bzw. Systole gemessen werden kann [3].

Eine typische Fragestellung für die MR-Aortografie im Kindesalter – und zur Abklärung einer Hypertonie bei Erwachsenen – ist die Frage nach einer **Aortenisthmusstenose** (► **Abb. 6b**).

Technisch ist die MR-Aortografie auch für Patienten mit Verdacht auf eine **Aortendissektion** sehr gut geeignet. Allerdings wird sie im Akutstadium nur selten eingesetzt, weil die CT breiter verfügbar ist und eine schnellere Datenakquisition ermöglicht [12, 13]. Zur regelmäßigen postoperativen Verlaufskontrolle nach der operativen Versorgung wird die MR-Aortografie jedoch deutlich häufiger verwendet [12, 13]. Das MRT-Protokoll bei Verdacht auf eine Aortendissektion bzw. bei bekannter Aortendissektion sollte „Black-Blood“-Sequenzen zur Visualisierung der Dissektionsmembran, Cine-Aufnahmen und ggf. Flussmessungen zur Analyse der Flussverhältnisse im wahren bzw. falschen Lumen sowie eine klassische MRA enthalten. Durch solche umfassenden Protokolle lassen sich thorakale Aortendissektionen und intramurale Hämatoome mit sehr hoher diagnostischer Genauigkeit iden-

tifizieren [13]. Der wesentliche Vorteil der MRT gegenüber der CT liegt in der funktionellen Analyse der Flussverhältnisse, insbesondere an „Entry“ und „Exits“ zwischen wahren und falschen Lumina [13]. Wesentliche technische Limitationen sind z. T. starke Artefakte durch implantierte Stentprothesen, die eine sichere Beurteilung einschränken oder sogar unmöglich machen können.

Neben konventionellen, rein anatomisch orientierten Methoden spielen mittlerweile bei vielen neuro- und kardiovaskulären Erkrankungen funktionell orientierte bildgebende Verfahren im Bereich der Aorta eine wichtige Rolle: So lässt sich über die Anatomie der Aorta hinaus MR-tomografisch z. B. sehr einfach ihre Dehnbarkeit messen. Diese sog. **Aortendistensibilität** spielt als Modulator des Blutdrucks eine zentrale Rolle für zahlreiche kardiovaskuläre Erkrankungen [14]. Ein anderer Ansatz ist die Erkennung pathologischer Strömungsmuster in der Aorta mittels 4-D-Flussmessungen (► **Abb. 4**). Wesentlicher Fortschritt bei 4-D-Flussmessungen der Aorta ist die Möglichkeit zur visuellen Analyse komplexer, nicht laminarer Strömungsmuster wie z. B. von Wirbeln, die auf ein lokal erhöhtes Ruptur- oder Dissektionsrisiko hinweisen können, oder von Embolisationsmustern artherosklerotischer Plaques in der Aorta [11]. Obwohl die genannten Techniken noch keine Standardmethoden im klinischen Alltag darstellen, bieten sie doch ein großes Potenzial für eine zukünftig eher funktionelle als anatomische Therapiesteuerung von Aortenerkrankungen.



► **Abb. 6** Beispiele von MR-Aortografien. **a** Kontrastmittelverstärkte MRA („Volume-Rendering“-Rekonstruktion) bei einem Patienten mit Aneurysma der Aorta ascendens. Es zeigt sich ein auf den Bulbus und die ascendierende Aorta beschränktes Aneurysma (Pfeil), während der Aortenbogen bereits wieder normkalibrig ist. **b** Kontrastmittelverstärkte MRA (links MPR, rechts „Volume-Rendering“-Rekonstruktion) bei einem Kind mit eindeutig relevanter Stenose des Aortenisthmus unmittelbar distal des Abgangs der linken A. subclavia. Über diese rein anatomischen Darstellungen hinaus lässt sich mittels Phasenkontrast-MRA bei angiografisch weniger klaren Fällen die Flussbeschleunigung in der Stenose ähnlich wie bei Doppler-Messungen quantifizieren, um den Verdacht zu erhärten oder zu entkräften.

Einen gänzlich anderen Ansatz verfolgt die **molekulare MRT-Bildgebung**, die auf zellulärer bzw. molekularer Ebene inflammatorische oder fibrotische Umbauprozesse darzustellen vermag. Hier ist als Methode z. B. die Applikation von Eisenpartikeln („Ultrasmall Superparamagnetic Particles of Iron Oxide“, USPIOs) als MRT-Kontrastmittel zu nennen, deren Aufnahme durch Makrophagen sich als Signalverlust auf T2w Bildern zur molekularen Bildgebung nutzen lässt. Diese Methode könnte zukünftig analog zu den „vulnerablen Plaques“ durch den Nachweis von Inflammation „vulnerable Aneurysmen“ mit erhöhtem Ruptur- bzw. Dissektionsrisiko identifizieren, befindet sich aber weiterhin im Wesentlichen in prä-klinischer Erprobung [15].

#### Merke

**Die Diagnostik bzw. Verlaufskontrolle von Aortenaneurysmata ist eine der wichtigsten Indikationen zur MR-Aortografie und kann mit oder ohne Kontrastmittelgabe durchgeführt werden.**

### Pulmonalarterien- und Pulmonalvenen-MRA

Bei Erwachsenen mit **angeborenem Herzfehler (EMAH)** spielen in vielen Fällen die Anatomie und die Dimensionen der Pulmonalarterien eine wichtige Rolle. Daher ist eine MRA der Pulmonalarterien fester Bestandteil von MRT-Protokollen bei Patienten mit primären Erkrankungen der Pulmonalklappen und/oder -arterien und korrigierten komplexen Herzfehlern (► **Abb. 2**) [9, 16]. Besonders hervorzuheben ist die Überlegenheit der MRT gegenüber anderen Methoden bei der Beurteilung von Pulmonalklappenvitien, weil man in nur einer Untersuchung das Klappenvitium quantifizieren, seine Auswirkungen auf die rechtsventrikuläre Anatomie und Funktion zeigen und die Pulmonalarterienanatomie darstellen kann [9].

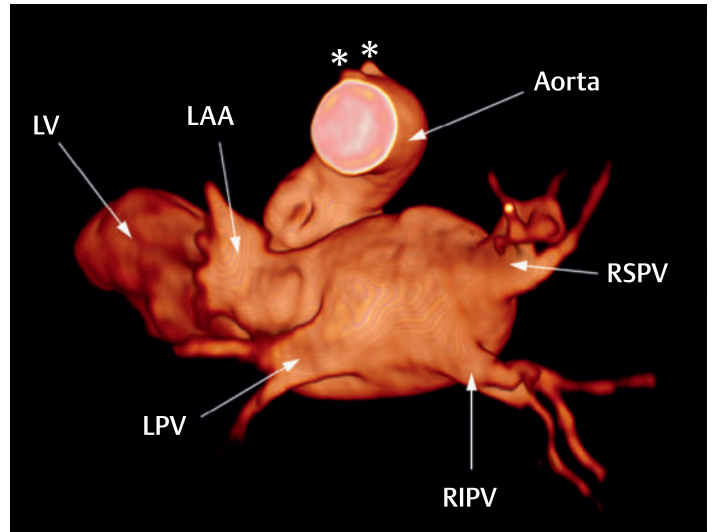
Auch **Lungenarterienembolien** lassen sich MR-tomografisch nachweisen, allerdings ist der Einsatz bei der akuten Lungenarterienembolie – ähnlich wie bei der akuten Aortendissektion – in der klinischen Routine nicht etabliert [17].



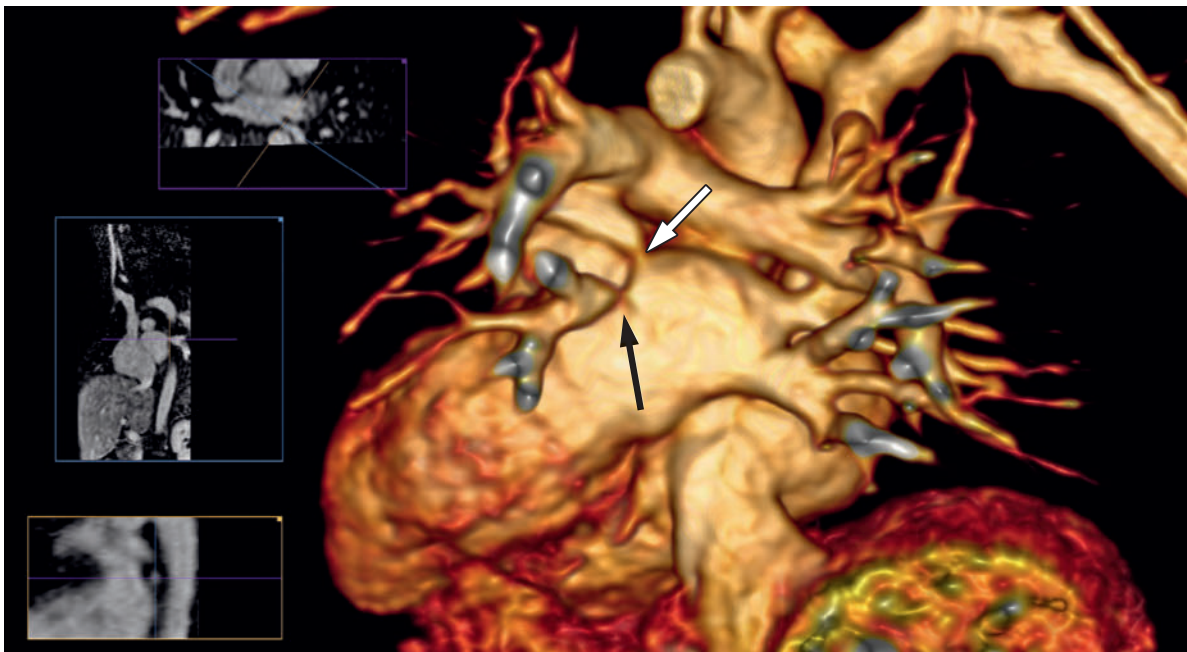
Auch in der klinischen Routinediagnostik bei **pulmonaler Hypertonie** spielt die MRA derzeit eher eine untergeordnete Rolle und bleibt Ausnahmen, insbesondere in der Schwangerschaft, vorbehalten [18].

Durch eine kontrastmittelverstärkte MRA lässt sich die Anatomie des linken Vorhofs und der Mündungen der Pulmonalvenen sowohl bei Sinusrhythmus als auch bei Vorhofflimmern während der Messung ausgezeichnet beurteilen (► **Abb. 7**). Bei der Pulmonalvenenisolation (PVI) zur Therapie von Vorhofflimmern ergeben sich 2 wesentliche Anwendungen für MRA des linken Vorhofs:

- Zum einen wird in vielen Zentren die Anatomie der Pulmonalvenen und des linken Vorhofs aus einer MRA zur Erleichterung der anatomischen Orientierung in das elektroanatomische Mapping-System integriert [9, 19].
- Zum anderen lässt sich mit einer MRA der Pulmonalvenen die mittlerweile seltene Komplikation einer Pulmonalvenenstenose nach PVI zuverlässig nachweisen und quantifizieren [9] – sowohl mittels rein morphologischer Darstellung als auch durch die Messung erhöhter Flussgeschwindigkeiten in der Pulmonalvene durch die Phasenkontrast-MRA (► **Abb. 8**).



► **Abb. 7** Kontrastmittelverstärkte MRA von Pulmonalvenen und linkem Vorhof bei einem Patienten mit Vorhofflimmern vor geplanter Pulmonalvenenisolation. Es zeigt sich als Variante eine gemeinsame linke Pulmonalvene (LPV) und rechts getrennte obere (RSPV) und untere (RIPV) Pulmonalvenen. Darüber hinaus kommt das linke Vorhofohr (LAA) sehr detailliert zur Darstellung. Eine solche MRA des linken Vorhofs kann in die bei der Katheterablation verwendeten elektroanatomischen Mapping-Systeme integriert und als anatomische Orientierungshilfe während der Ablation verwendet werden. Als weitere Strukturen kommt hier der linke Ventrikel (LV) und die Aorta mit 2 Bypass-Stümpfen (Sterne) zur Darstellung.



► **Abb. 8** Kontrastmittelverstärkte MRA des linken Vorhofs bei einer Patientin mit der mittlerweile sehr seltenen Komplikation einer Pulmonalvenenstenose nach Pulmonalvenenisolation bei Vorhofflimmern. Die „Volume-Rendering“-Übersicht zeigt bereits stenotisiert wirkende Ostien der linken oberen und unteren Pulmonalvenen (Pfeile). Die Stenosen lassen sich dann anhand der MPR (Kästen links im Bild) quantifizieren. In Zweifelsfällen können auch hier mittels Phasenkontrast-MRA erhöhte Flussgeschwindigkeiten in stenotisierten Pulmonalvenen als nicht anatomische Zusatzkriterien herangezogen werden.

**Merke**

Die MRA des linken Vorhofs wird am häufigsten zur Integration in elektroanatomische Mapping-Systeme für eine bessere Orientierung bei der Pulmonalvenenisolation, aber auch zum Nachweis von Pulmonalvenenstenosen nach der Pulmonalvenenisolation eingesetzt.

**Anomalien und Shuntvitien**

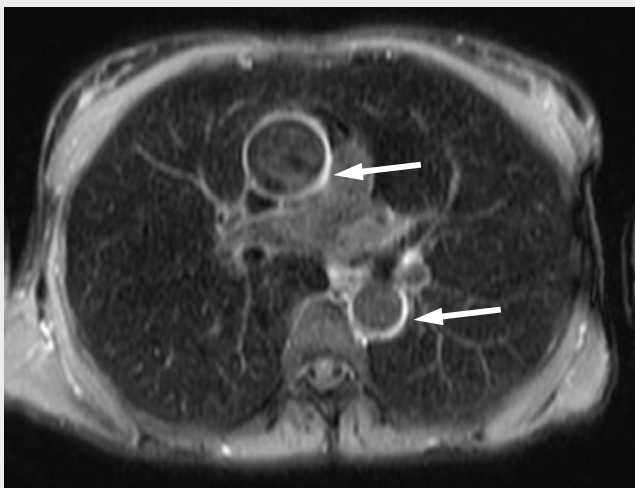
Eine häufige Frage für die kardiovaskuläre MRT ist eine unklare Rechtsherzvergrößerung bzw. der Verdacht auf Shuntvitien (► **Abb. 1**) [16]. Wesentliche Vorteile der MRT sind dabei, dass mit einer Modalität:

- die Morphologie und Funktion des Herzens erfasst,
- mögliche Shunts mittels Phasenkontrast-MRA durch eine Quantifizierung des links- und rechtsventrikulären Schlag- bzw. Herz-Zeit-Volumens quantifiziert und
- die Anatomie der thorakalen Gefäße mittels MRA zur Shuntlokalisation dargestellt werden kann [1, 3, 9, 10].

**FALLBEISPIEL****Verdacht auf Vaskulitis**

Eine Patientin stellt sich mit seit einem Jahr bestehenden Kauschmerzen und nun progredienter Verschlechterung des Allgemeinzustandes, B-Symptomen, Anämie und unklarer CRP-Erhöhung bei ihrem Hausarzt vor. Ein Malignom konnte nicht nachgewiesen werden.

In der MRT (► **Abb. 9**) ergab sich eine leichte Wandverdickung insbesondere der Aorta descendens mit gering vermehrter Kontrastmittelaufnahme. Die Patientin erhielt eine Steroidtherapie, unter der sich die Symptomatik prompt verbesserte. Im weiteren Verlauf wurde dann eine Riesenzellerarteriitis diagnostiziert.



► **Abb. 9** Darstellung der Aortenwand bei einer Patientin mit Riesenzellerarteriitis. Insbesondere die Wand der Aorta descendens ist leicht verdickt und zeigt eine etwas vermehrte Kontrastmittelaufnahme (Pfeile) im dargestellten T1w-Bild mit Fettunterdrückung.

Diese Informationen können, wenn überhaupt, sonst oft nur durch die Kombination aus echokardiografischen, computertomografischen und invasiven Untersuchungen ermittelt werden. Diese Fragestellung ist daher eine besonders sinnvolle Indikation der Kardio-MRT, weshalb die Kardio-MRT in den DRG/DGK-Konsensusempfehlungen auch als für diese Fragestellung allen anderen Methoden überlegen bewertet wird [9].

**Merke**

Die Kardio-MRT ist Methode der Wahl zur Quantifizierung und Lokalisation eines Links-rechts-Shunts bei Anomalien wie einer Lungenvenenfehlbildung.

**Vaskulitiden**

Neben den auf die Beurteilung des Gefäßlumens fokussierten Anwendungen erlauben bestimmte MRA-Techniken auch die Erfassung entzündlicher Veränderungen der Gefäßwand bei Vaskulitiden [7, 8]. Analog zu Veränderungen im Myokard sind dies einerseits flüssigkeitssensitive Sequenzen zum Nachweis eines Ödems in der Gefäßwand, aber auch die Kontrastmittelaufnahme von entzündlich veränderten Gefäßwänden [8]. Während sich computertomografisch vor allem die Wanddicke der Gefäße beurteilen lässt, bietet die MRA darüber hinaus zusätzliche Informationen zur inflammatorisch veränderten Beschaffenheit der Gefäßwand. Hierdurch kann neben der eigentlichen Diagnostik auch gut der Verlauf unter einer immunsuppressiven Therapie kontrolliert werden (► **Abb. 9**).

**Merke**

Vaskulitiden lassen sich in der MRT durch ein Ödem der Gefäßwand und/oder das Kontrastmittelaufnahmeverhalten identifizieren.

**KERNAUSSAGEN**

- Die kontrastmittelverstärkte MR-Angiografie ist weiterhin die Referenzmethode zur Gefäßdarstellung in der MRT, es sollten aber immer kontrastmittelfreie Techniken als Alternative erwogen werden.
- Kontrastmittelfreie MR-Techniken erlauben neben einer oft gleichwertigen anatomischen Gefäßdarstellung auch eine Beurteilung der Gefäßwand, der Lagebeziehung zu umgebenden Strukturen und eine funktionelle Beurteilung von Blutflussgeschwindigkeiten und -volumina.
- Neben der MR-Aortografie zur Diagnostik und Verlaufskontrolle von Aneurysmen und anderen Aortenerkrankungen sind Abgangs anomalien der Koronararterien, die Anatomie und Funktion von Pulmonalvenen, Shuntvitien und Vaskulitiden weitere Indikationen der MR-Angiografie.

## Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Autorinnen/Autoren



### Kai Müllerleile

PD Dr. med. 1998–2004 Medizinstudium in Hamburg. 2004–2011 Facharzt Ausbildung im Universitären Herzzentrum Hamburg. Seit 2011 Facharzt für Innere Medizin und Kardiologie. Seit 2012 Oberarzt und seit 2017 Leitender Oberarzt in der Klinik für Allgemeine und Interventionelle Kardiologie im Universitären Herzzentrum Hamburg. Seit 2016 Kardiologischer Leiter im Centrum für interdisziplinäre Herzbildgebung am Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf. Schwerpunkte: Kardio-MRT und interventionelle Kardiologie.



### Gunnar K. Lund

Prof. Dr. med. 1984–1990 Studium der Humanmedizin an der RWTH Aachen. 1991–1998 Facharzt Ausbildung Innere Medizin und Kardiologie im Universitären Herzzentrum Hamburg. Seit 1998 Facharzt für Innere Medizin. 1998–2000 Forschungsaufenthalt in San Francisco, USA, im Bereich Kardio-MRT. Seit 2005 Facharzt für Kardiologie. 2008–2011 Facharzt Ausbildung Radiologie in der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf. Seit 2011 Facharzt für Radiologie. Seit 2012 Oberarzt der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Hamburg-Eppendorf. Seit 2016 Radiologischer Leiter des Centrums für interdisziplinäre Herzbildgebung der Klinik für Diagnostische und Interventionelle Radiologie. Schwerpunkte: Kardio-MRT und Kardio-CT.

## Korrespondenzadresse

### PD Dr. med. Kai Müllerleile

Universitätsklinikum Hamburg-Eppendorf  
Universitäres Herzzentrum Hamburg  
Klinik für Allgemeine und Interventionelle Kardiologie  
Martinistraße 52  
20246 Hamburg  
kamuelerleile@uke.de

## Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen

Wissenschaftlich verantwortlich gemäß Zertifizierungsbestimmungen für diesen Beitrag ist Dr. med. Kai Müllerleile, Hamburg.

## Erstveröffentlichung

Dieser Beitrag wurde erstveröffentlicht in: *Kardiologie up2date* 2017; 13: 239–250

## Literatur

- [1] Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD et al.; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013; 15: 91
- [2] Hartung MP, Grist TM, Francois CJ. Magnetic resonance angiography: current status and future directions. *J Cardiovasc Magn Reson* 2011; 13: 19
- [3] Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J et al. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013; 15: 35
- [4] Bruder O, Schneider S, Pilz G et al. 2015 Update on acute adverse reactions to gadolinium based contrast agents in cardiovascular MR. Large multi-national and multi-ethnic population experience with 37788 patients from the EuroCMR Registry. *J Cardiovasc Magn Reson* 2015; 17: 58
- [5] Ramalho J, Ramalho M, Jay M et al. Gadolinium toxicity and treatment. *Magn Reson Imaging* 2016; 34: 1394–1398
- [6] Gulani V, Calamante F, Shellock FG et al.; International Society for Magnetic Resonance in Medicine. Gadolinium deposition in the brain: summary of evidence and recommendations. *Lancet Neurol* 2017; 16: 564–570
- [7] Hartlage GR, Palios J, Barron BJ et al. Multimodality imaging of aortitis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2014; 7: 605–619
- [8] Raman SV, Aneja A, Jarjour WN. CMR in inflammatory vasculitis. *J Cardiovasc Magn Reson* 2012; 14: 82
- [9] Achenbach S, Barkhausen J, Beer M et al. [Consensus recommendations of the German Radiology Society (DRG), the German Cardiac Society (DGK) and the German Society for Pediatric Cardiology (DGPK) on the use of cardiac imaging with computed tomography and magnetic resonance imaging]. *RoFo* 2012; 184: 345–368
- [10] American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents; Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP et al. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: A report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol* 2010; 55: 2614–2662
- [11] Dyverfeldt P, Bissell M, Barker AJ et al. 4D flow cardiovascular magnetic resonance consensus statement. *J Cardiovasc Magn Reson* 2015; 17: 72
- [12] Erbel R, Aboyans V, Boileau C et al.; ESC Committee for Practice Guidelines. 2014 ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases: Document covering acute and chronic aortic diseases of the thoracic and abdominal aorta of the adult. The Task Force for the Diagnosis and Treatment of Aortic Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2014; 35: 2873–2926
- [13] Baliga RR, Nienaber CA, Bossone E et al. The role of imaging in aortic dissection and related syndromes. *JACC Cardiovasc Imaging* 2014; 7: 406–424
- [14] Redheuil A, Wu CO, Kachenoura N et al. Proximal aortic distensibility is an independent predictor of all-cause mortality and incident CV events: The MESA study. *J Am Coll Cardiol* 2014; 64: 2619–2629
- [15] Malm BJ, Sadeghi MM. Multi-modality molecular imaging of aortic aneurysms. *J Nucl Cardiol* 2017. doi:10.1007/s12350-017-0883-2

- [16] Fratz S, Chung T, Greil GF et al. Guidelines and protocols for cardiovascular magnetic resonance in children and adults with congenital heart disease: SCMR expert consensus group on congenital heart disease. *J Cardiovasc Magn Reson* 2013; 15: 51
- [17] Konstantinides SV, Torbicki A, Agnelli G et al.; Task Force for the Diagnosis and Management of Acute Pulmonary Embolism of the European Society of Cardiology (ESC). 2014 ESC guidelines on the diagnosis and management of acute pulmonary embolism. *Eur Heart J* 2014; 35: 3033–3069, 3069a–3069k
- [18] Galie N, Humbert M, Vachiery JL et al. 2015 ESC/ERS Guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension: The Joint Task Force for the Diagnosis and Treatment of Pulmonary Hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and the European Respiratory Society (ERS): Endorsed by: Association for European Paediatric and Congenital Cardiology (AEPC), International Society for Heart and Lung Transplantation (ISHLT). *Eur Heart J* 2016; 37: 67–119
- [19] Estner HL, Chen J, Potpara T et al.; Scientific Initiative Committee, European Heart Rhythm Association. Personnel, equipment, and facilities for electrophysiological and catheter ablation procedures in Europe: Results of the European Heart Rhythm Association Survey. *Europace* 2014; 16: 1078–1082

## Bibliografie

---

DOI <https://doi.org/10.1055/a-0657-7046>  
Radiologie up2date 2018; 18: 363–374  
© Georg Thieme Verlag KG Stuttgart · New York  
ISSN 1616-0681



## Punkte sammeln auf CME.thieme.de



Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für die Teilnahme verfügbar. Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, finden Sie unter [cme.thieme.de/hilfe](https://cme.thieme.de/hilfe) eine ausführliche Anleitung. Wir wünschen viel Erfolg beim Beantworten der Fragen!

Unter [eref.thieme.de/CXB7DIM](https://eref.thieme.de/CXB7DIM) oder über den QR-Code kommen Sie direkt zum Artikel zur Eingabe der Antworten.

VNR 2760512018154652671



### Frage 1

Welche der folgenden Aussagen ist *nicht* richtig?

- A Die klassische dreidimensionale kontrastmittelverstärkte MRA mit schnellen Gradientenechosequenzen ist in der MRT die Referenzmethode zur Angiografie.
- B In der Nachbearbeitung einer kontrastmittelverstärkten MRA eignen sich Maximum-Intensity-Projektionen für quantitative Analysen.
- C In der klassischen TOF-MRA werden die Gefäße signalreich und der Hintergrund signalarm dargestellt.
- D Die Phasenkontrast-MRA ist eine spezielle Variante der kontrastmittelfreien MRA.
- E Die MR-Koronarangiografie gilt als eine der Methoden der Wahl zur Diagnostik von Koronaranomalien.

### Frage 2

Welche der folgenden Aussagen zur MR-Angiografie ist richtig?

- A Bei kontrastmittelfreien MR-Angiografien stellt sich das Blut immer dunkel dar.
- B Bei kontrastmittelfreien MR-Angiografien kann die Gefäßwand nicht beurteilt werden.
- C Bei kontrastmittelfreien MR-Angiografien kommen sowohl arterielle als auch venöse Gefäße zur Darstellung.
- D Bei kontrastmittelfreien MR-Angiografien können aufgrund der langen Messzeiten generell keine Aufnahmen in Atem-anhaltetechnik durchgeführt werden.
- E Bei kontrastmittelfreien MR-Angiografien können Umgebungsstrukturen schlecht beurteilt werden.

### Frage 3

Welche der folgenden Aussagen zu Flussmessungen mittels Phasenkontrast-MRA ist *nicht* richtig?

- A MRT-Flussmessungen lassen sich grundsätzlich in jeder beliebigen Schichtorientierung durchführen.
- B MRT-Flussmessungen ermöglichen sowohl die Messung von Flussgeschwindigkeiten als auch von Flussvolumina.
- C MRT-Flussmessungen werden zur Quantifizierung von Shuntvitien eingesetzt.
- D MRT-Flussmessungen werden zur Quantifizierung von Gefäßstenosen eingesetzt.
- E MRT-Flussmessungen mittels Phasenkontrast-MRA benötigen die Gabe von Kontrastmittel.

### Frage 4

Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- A Aortenerkrankungen sind eine seltene Indikation für eine MRA.
- B Wird die MRA zur Diagnostik eines Aortenaneurysmas eingesetzt, dann ist die Verwendung eines Kontrastmittels Pflicht.
- C Bei der Beurteilung von Pulmonalklappenvitien ist die MRT anderen Verfahren überlegen.
- D Lungenarterienembolien können MR-tomografisch nicht nachgewiesen werden.
- E Entzündliche Veränderungen der Gefäßwand bei Vaskulitiden können mit allen MRA-Techniken nachgewiesen werden.

### Frage 5

Welche der folgenden Aussagen ist *nicht* richtig?

- A Für eine kontrastmittelverstärkte MRA verwendet man in erster Linie gadoliniumhaltige, extrazelluläre Kontrastmittel.
- B Gadolinium kann unter bestimmten Voraussetzungen in Organen wie der Haut oder dem Gehirn abgelagert werden.
- C Die kontrastmittelfreie MRA ist die Referenzmethode zur Gefäßdarstellung in der MRT.
- D Mit bSSFP-Sequenzen werden arterielle und venöse Gefäße signalreich dargestellt.
- E Bei „Black-Blood“-Techniken ist die Signalintensität des Blutes niedrig.

► Weitere Fragen auf der folgenden Seite ...

## Punkte sammeln auf CME.thieme.de

Fortsetzung...

### Frage 6

Welche der folgenden Aussagen zur empfohlenen Quantifizierung von Aortendurchmessern mittels MR-Angiografie ist richtig?

- A Aortendurchmesser sollten anhand von „Maximum-Intensity-Projektionen“ gemessen werden.
- B Aortendurchmesser sollten anhand von „Volume-Rendering“-Rekonstruktionen gemessen werden.
- C Aortendurchmesser sollten anhand von multiplanaren Reformatierungen (MPR) gemessen werden.
- D Aortendurchmesser sollten anhand streng transversaler Schichten gemessen werden.
- E Aortendurchmesser sollten anhand streng sagittaler Schichten gemessen werden.

### Frage 7

Welche der folgenden Vorgehensweisen ist für die Verwendung von Kontrastmitteln bei der MRA der herznahen Gefäße zu empfehlen?

- A Die Verwendung eines Kontrastmittels ist obligat.
- B Außer bei Verlaufskontrollen sollte immer eine kontrastmittelverstärkte MRA durchgeführt werden.
- C Es sollten möglichst wenig und möglichst stabile gadoliniumhaltige MRT-Kontrastmittel verwendet werden.
- D Es sollten ausschließlich kontrastmittelfreie MRA-Techniken eingesetzt werden.
- E Bei den kontrastmittelfreien MRA-Techniken ist die TOF-MRA den bSSFP-Sequenzen vorzuziehen.

### Frage 8

Welche der folgenden Aussagen zur Kardio-MRT bei Shuntvitien ist richtig?

- A Die Kardio-MRT ist Methode der Wahl zur Diagnostik bei Patienten mit Verdacht auf Lungenvenenfehlmündung.
- B Die Kardio-MRT kann nur zur Quantifizierung, nicht aber zur Lokalisation von Shuntvitien eingesetzt werden.
- C Die Kardio-MRT kann nur zur Lokalisation, nicht aber zur Quantifizierung von Shuntvitien eingesetzt werden.
- D Die Kardio-MRT ist der Rechtsherzkatheter-Untersuchung bei der Quantifizierung von Shuntvitien unterlegen.
- E Die Kardio-MRT ist der Echokardiografie bei der Quantifizierung von Shuntvitien unterlegen.

### Frage 9

Welche der folgenden Aussagen zur MR-Diagnostik bei Vaskulitiden ist *nicht* richtig?

- A Bei der MR-Diagnostik von Vaskulitiden kann der Verlauf unter Therapie beurteilt werden.
- B Bei der MR-Diagnostik von Vaskulitiden kommen native Techniken zur Ödemdarstellung zur Anwendung.
- C Bei der MR-Diagnostik von Vaskulitiden kommen kontrastmittelverstärkte Techniken zur Anwendung.
- D Bei der MR-Diagnostik von Vaskulitiden sind 4-D-Flussmessungen von besonderer Bedeutung.
- E Bei der MR-Diagnostik von Vaskulitiden ist die Verdickung der Gefäßwand analog zur CT ein diagnostisches Kriterium.

### Frage 10

Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- A Die MR-Koronarangiografie ist im klinischen Alltag für die Diagnostik von Koronarstenosen gut geeignet.
- B In der Diagnostik großer Gefäße wie der Aorta ist die MRA auch zur Beurteilung von Kalzifizierungen geeignet.
- C In der Praxis wird die MR-Aortografie besonders häufig eingesetzt, um den Verdacht auf eine akute Aortendissektion abzuklären.
- D Mit 4-D-Flussmessungen können in der Aorta pathologische Strömungsmuster erkannt werden.
- E Die Mündungen der Pulmonalvenen können in der kontrastmittelverstärkten MRA bei Sinusrhythmus ausreichend genau dargestellt werden, nicht jedoch bei Vorhofflimmern.