

Radiologie 2022 · 62:902–911
<https://doi.org/10.1007/s00117-022-01066-8>
Angenommen: 10. August 2022
Online publiziert: 12. Oktober 2022
© Der/die Autor(en) 2022



Computer- und Magnetresonanztomographie in der Herzdiagnostik – welche Modalität ist die richtige?

Eine Orientierungshilfe auf Basis der neuen Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC)

Robin F. Gohmann¹ · Malte M. Sieren² · Matthias Gutberlet¹

¹ Abteilung für Diagnostische und, Interventionelle Radiologie, Herzzentrum Leipzig GmbH, Leipzig, Deutschland

² Klinik für Radiologie und Nuklearmedizin, Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Lübeck, Lübeck, Deutschland

In diesem Beitrag

- Aktualisierte Leitlinien
- Stärken der Schnittbildgebung
Computertomographie · Magnetresonanztomographie
- Leitsymptome
Stabiler/chronischer Brustschmerz · Akuter Brustschmerz · Leistungsminderung
- Weitere Anwendungsgebiete

Zusammenfassung

In den Leitlinienaktualisierungen der European Society of Cardiology (ESC) nimmt die nichtinvasive radiologische Schnittbildgebung eine zunehmende prominente Rolle ein, während gleichzeitig die invasive Diagnostik weiter zurückgedrängt wird. Gerade für die Diagnose und die Behandlung des chronischen und des akuten Koronarsyndroms ergeben sich für die klinische Routine grundlegende Änderungen. Darüber hinaus bietet die Schnittbildgebung auch bei anderen kardialen Pathologien eine Alternative zur gängigen Primärdiagnostik, insbesondere der Echokardiographie, welche auch vermehrt in der Differenzialdiagnostik kardialer Erkrankungen eingesetzt wird. Der Radiologe sollte die Empfehlungen der aktuellen Leitlinien kennen und sich für ihre Etablierung im klinischen Alltag einsetzen. Diese Arbeit bietet eine Zusammenfassung der Indikationen kardialer Schnittbildgebung mit Fokus auf Neuerungen in den ESC-Leitlinien und geht auf typische Stärken und Schwächen der jeweiligen Modalität ein.

Schlüsselwörter

Computertomographie · Koronarangiographie · Kardiale Magnetresonanztomographie · Koronare Herzkrankheit · Brustschmerzen

Die Autoren Robin F. Gohmann und Malte M. Sieren haben zu gleichen Teilen als Erstautoren gewirkt.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

In der letzten Dekade ist es zu einem Paradigmenwechsel in der kardiovaskulären Diagnostik gekommen. Durch die konsequente Translation wissenschaftlicher Evidenz in klinische Leitlinien wurde die radiologische, nichtinvasive Schnittbildgebung Schritt für Schritt zu einem Eckpfeiler der kardiovaskulären Diagnostik aufgewertet. Die kardiale Computer- und Magnetresonanztomographie (CT und MRT) stellen nach den aktuellen Leitlinien bereits heute die Methoden der ersten Wahl zur Primärdiagnostik kardialer Erkrankungen dar, ergänzen regelhaft die Basisdiagnostik oder sind gleichwertige Alternativen zu etablierten Methoden. Der Einsatz dieser Modalitäten im frühen Krankheitsstadi-

um erlaubt die zielgerichtete und zeitnahe Evaluation der Pathologie – anatomisch wie funktionell – und bestimmt die weitere Behandlung des Patienten [10]. Die Bereitstellung, Durchführung und Beurteilung dieser Untersuchungen verlangt vom Radiologen sowohl die genaue Kenntnis der Indikation, Fachkenntnis der Pathologien als auch eine suffiziente interdisziplinäre Kommunikation mit den beteiligten Fachdisziplinen, um eine leitliniengerechte Behandlung des Patienten zu gewährleisten und Neuerungen im klinischen Alltag zu etablieren.

Dieser Artikel soll eine erste Orientierungshilfe zu den Stärken der jeweiligen Modalität und den möglichen Einsatzfel-

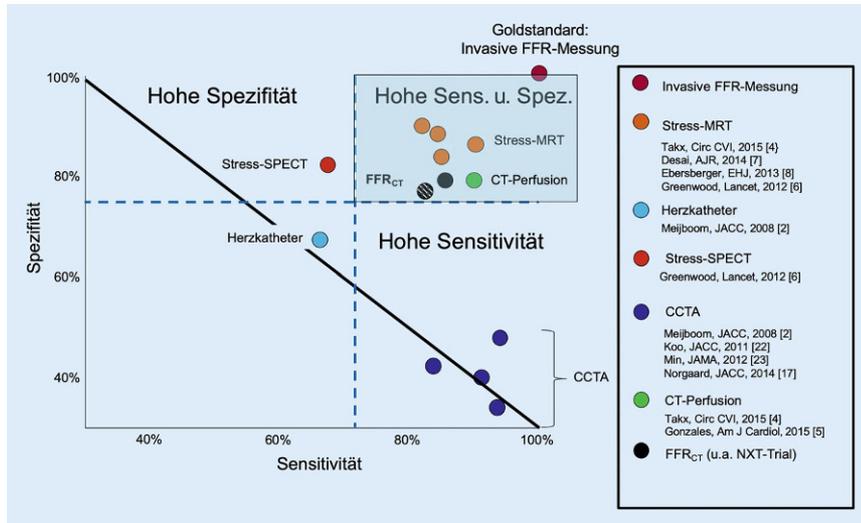


Abb. 1 ▲ Übersicht der Sensitivitäten und Spezifitäten verschiedener bildgebender Verfahren im Vergleich zum Goldstandard der invasiven FFR-Messung. Beachte, dass die limitierte Spezifität der CCTA durch Verwendung von ischämienachweisenden Verfahren wie Stress-MRT oder CT-Perfusion, aber auch FFR_{CT} verbessert werden kann. CCTA CT-Koronarangiographie, FFR_{CT} CT-basierte fraktionelle Flussreserve, SPECT „single photon emission computed tomography“. (Mod. nach [23, 37])

dern geben. Ein besonderer Fokus liegt auf den Aktualisierungen in kürzlich veröffentlichten Leitlinien der European Society of Cardiology (ESC).

Aktualisierte Leitlinien

Richtungsweisende Neuerungen in den aktuellen Leitlinien finden sich vor allem in den Empfehlungen zur Diagnostik des breiten Spektrums ischämischer Herzerkrankungen: des akuten (ACS) und des chronischen Koronarsyndroms (CCS), das den Begriff der stabilen und chronischen koronaren Herzkrankheit in den ESC Leitlinien von 2019 ersetzt hat. Hier wurden von der ESC für die Diagnose und Behandlung des akuten und des chronischen Koronarsyndroms im Jahr 2019 und 2020 aktualisierte Leitlinien veröffentlicht [7, 22, 31]. Auch von der American Heart Association (AHA) und dem American College of Radiology (ACR) gab es eine Aktualisierung der Empfehlungen zur Beurteilung und Diagnose von Brustschmerz [21]. Eine der Kernänderungen basiert u. a. auf den Erkenntnissen von zahlreichen, multizentrischen CT-Studien, wie der PROMISE- und SCOT-Heart-Studie [15, 21, 29, 39]. Die aus den Studiendaten ermittelten Vortestwahrscheinlichkeiten für das Vorliegen einer koronaren Herzkrankung (KHK) waren deutlich niedriger als bisher durch das *Diamond*

and *Forrester Model* [22] berechnet, sodass Patienten nun mehrheitlich einem niedrigen bis mittleren Risiko zugeordnet werden müssen und damit ein deutlich größeres Patientenkollektiv als bisher nichtinvasiv untersucht werden sollte. Diese Entwicklung geht zu Lasten der invasiven Herzkatheteruntersuchung (HKU), deren Indikation folglich deutlich enger gestellt werden muss. Die 2020 veröffentlichten Ergebnisse der ISCHEMIA-Studie zeigten außerdem, dass Patienten von einer initialen invasiven Diagnostik lediglich symptomatisch profitieren und sich keine Verbesserung bezüglich kardiovaskulärer ischämischer Ereignisse oder der Sterblichkeit ergeben, wenn eine Hauptstammstenose zuvor mittels CT-Koronarangiographie („coronary computed tomography angiography“, CCTA) ausgeschlossen wurde [35]. Insgesamt hat dies nicht nur zu einer prominenteren Rolle der Schnittbildgebung als Ganzes, sondern vor allem auch zu einer Stärkung der anatomisch-morphologischen Bildgebung mittels CT gegenüber der funktionellen MRT-Bildgebung bei ACS und CCS geführt.

Neben den Leitlinien zum ACS und CCS wurden sowohl von der ESC als auch der AHA/ACR die Leitlinien zur akuten und chronischen Herzinsuffizienz [25, 36], Klappenerkrankungen [38, 45] und Erwachsenen mit angeborenen Herzfehlern aktua-

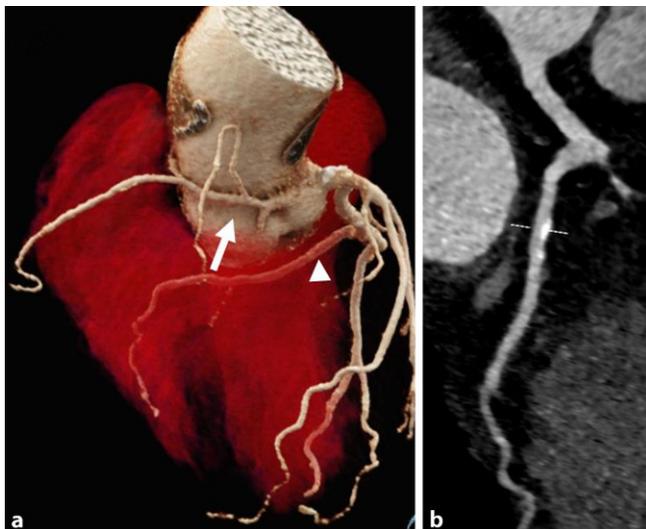


Abb. 2 ▲ „Maligne“, potenziell hämodynamisch relevante Verlaufsanomalie der rechten Koronararterie zwischen Aortenwurzel und rechtsventrikulärem Ausflusstrakt (Pfeil) in einer 3D-Reformation (a). Gekrümmte multiplanare Reformation des Ramus circumflexus desselben Patienten mit kalzifizierter Plaque im proximalen Segment (Strichmarkierung) mit lediglich milder Stenose (CAD-RADS) (b). Die Stelle der Plaque im Ramus circumflexus ist in (a) mit einem Pfeilkopf markiert

liert [4]. Während, mit Ausnahme der Bildgebung des CCS und verschiedener angeborener Herzfehler, die kardiale CT und MRT bei diesen Pathologien nicht zur Basisdiagnostik gehört, etabliert sie sich dennoch als alternative Untersuchungsmethoden zur Funktionsbeurteilung (MRT) und u. a. zur Umfelddiagnostik bzw. zum Ausschluss der koronaren Herzkrankheit (KHK) mittels CT und der Differenzialdiagnostik beim ACS mittels MRT.

Stärken der Schnittbildgebung

Computertomographie

Die generellen Vorteile der CT – flächendeckende, unmittelbare Verfügbarkeit und kurze Untersuchungsdauer [16, 41] – sind v. a. in der Notfalldiagnostik von entscheidender Bedeutung. Außerdem ist die CT für ein größeres Patientenkollektiv unmittelbar zugänglich, auch für solche mit metallischen Implantaten oder Klaustrophobie. Die Strahlenexposition hat sich in den letzten 10 Jahren um ca. die Hälfte verringert und liegt für eine CCTA aktuell im Median bei 4,54 mSv [16]. Gepaart mit der hohen räumlichen und inzwischen ausreichend hohen zeitlichen Auflösung, eignet sich die CT hervorragend zur anatomischen

Beurteilung des Herzens und der Herzkranzgefäße (▣ Abb. 2). Nichtsdestotrotz können Bewegungsartefakte bei erhöhter Herzfrequenz und Arrhythmien sowie Aufhärtingsartefakte durch Fremdmaterial oder hohe Kalklast die Untersuchungsqualität beeinträchtigen. Auch muss der Patient kooperativ sein und den Atem für 5–10 s anhalten können. In der Patientenselektion sollten diese Faktoren bedacht bzw. die Herzfrequenz im Vorfeld medikamentös mittels β -Blockern auf eine Zielfrequenz von 60–70 Schlägen pro Minute eingestellt werden [24, 40]. Um Bewegungsartefakte zu reduzieren, gilt eine 64-Detektorzeilen-CT als Mindeststandard. Konkrete Protokollempfehlungen sind natürlich abhängig vom Gerätetyp und konkreten Patienten, Publikationen von Fachgesellschaften können jedoch Anhalt liefern [1, 5, 17].

Die Koronarangiographie mittels CTA nimmt als robuste Methode – v. a. wegen ihrer hohen Sensitivität und ihres hohen negativ-prädiktiven Werts – eine Schlüsselrolle in der Diagnostik des CCS ein (▣ Abb. 1). Die CCTA ermöglicht sowohl die Diagnose einer stenosierenden und nichtstenosierenden KHK als auch von Koronarabnormalitäten und ist hierbei sogar der HKU überlegen (▣ Abb. 2). Neben

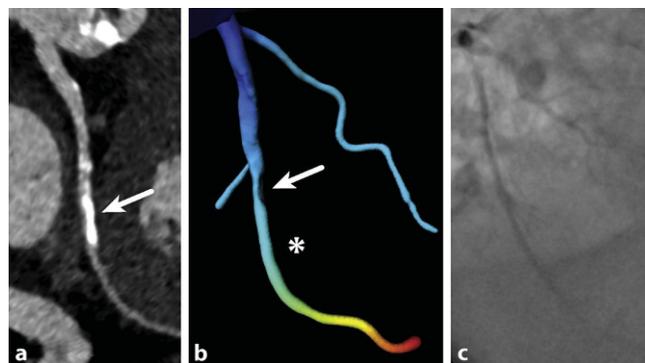


Abb. 3 ▲ Korrekte Reklassifikation mit Hilfe von CT-FFR. Stark verkalkte Plaque im Ramus circumflexus (Pfeil) mit mäßiger Stenose ($\geq 50\%$) in der CCTA (a) und CT-FFR (b). Die CT-FFR zeigt Werte deutlich über dem Schwellenwert von 0,80 mit einem Wert von 0,91 etwa 2 cm distal der Stenose (Sternchen) und von 0,82 im distalen Abstrom (b). Die entsprechende Projektion der invasiven HKU zeigt keine relevante Stenose (c). CCTA CT-Koronarangiographie, CT-FFR CT-basierten fraktionellen Flussreserve, HKU Herzkatheteruntersuchung. (Mit freundlicher Genehmigung von Gohmann et al. J Am Coll Cardiol Img. 2022 [19])

klassischen Charakteristika wie Stenosegrad und -länge wurden in der PROMISE- und ROMICAT-II-Studie weiterführende Parameter, wie niedrige Plaquedichte und Remodeling für eine noch akkuratere Risikostratifizierung untersucht [11, 12]. Auch dies ist mit der invasiven HKU, die nur das Lumen darstellt, nicht in gleichem Maße möglich. Mit der CAD-RADS-Klassifikation liegt außerdem ein strukturiertes „decision support tool“ vor, das eine Standardisierung ermöglicht und die interdisziplinäre Kommunikation erleichtert [14]. Von der Arbeitsgemeinschaft Herz- und Gefäßdiagnostik der Deutschen Röntgengesellschaft wurden darüber hinaus Befundungsvorlagen basierend auf einem Experten- und Qualitätskonsensus konzipiert (www.befundung.drg.de; [6]).

Eine native, dosisreduzierte („low-dose“) CT zur Beurteilung der Kalklast mittels des Agatston-Scores [3] erlaubt es zusätzlich, einen gut reproduzierbaren quantitativen Wert zur Beurteilung des kardiovaskulären Risikos zu bestimmen [22]. Eine extrem hohe Kalklast kann sich außerdem auf die Beurteilungsqualität der CCTA auswirken (▣ Abb. 3) und den Untersucher veranlassen, funktionelle Untersuchungen, z. B. eine kardiale MRT (CMR) der CCTA, vorzuziehen. Zukünftig

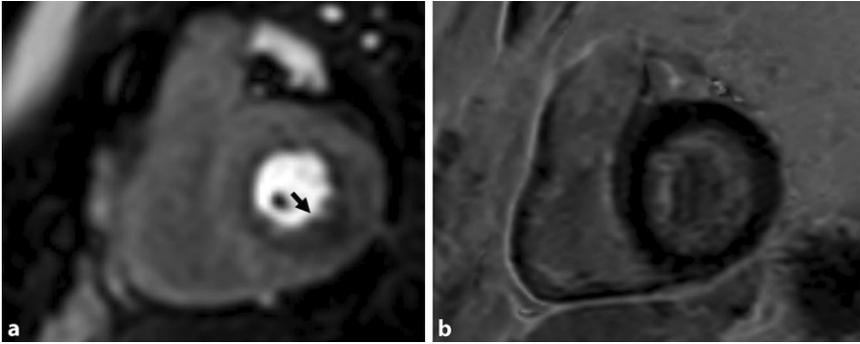


Abb. 4 ▲ Stressinduziertes Perfusionsdefizit bei hochgradiger Stenose des Ramus circumflexus im proximalen Segment. **a** Kurzachsenschnitt der Stressperfusion. Subendokardiales Perfusionsdefizit mittventrikulär infolateral (*Pfeil*). Der schmale dunkle subendokardiale Saum im übrigen Myokard entspricht einem sog. Dark-rim-Artefakt. **b** Bildgebung unter Late-Gadolinium-Enhancement (LGE; T1 PSIR 20 min nach Kontrastmittelgabe), hier findet sich keine korrespondierende Narbe

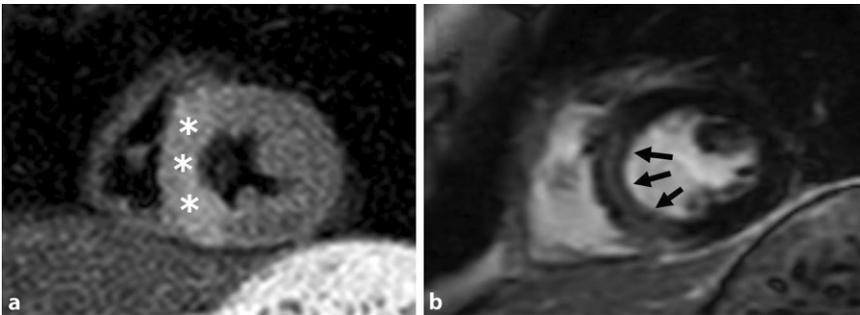


Abb. 5 ▲ Akute fokale Myokarditis im Bereich des interventrikulären Septums im Kurzachsenschnitt. **a** T2-gewichtete STIR-Sequenz mit deutlicher Signalanhebung (Ödem) im interventrikulären Septum (*). In der ödemsensitiven Sequenz lässt sich eine deutliche fokale Signalsteigerung im interventrikulären Septum erkennen. **b** Korrespondierendes intramyokardiales Late-Gadolinium-Enhancement (LGE; T1 PSIR 20 min nach Kontrastmittelgabe) septal und inferoseptal (*Pfeile*)

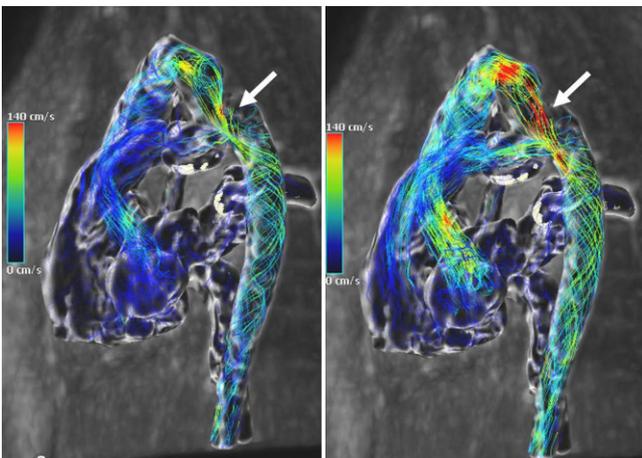


Abb. 6 ▲ Aortenisthmusstenose (ISTA) in zeitlich aufgelöster (4D-)MR-Angiographie zu unterschiedlichen Phasen des Herzzyklus. Farblich kodiert sind die Flussgeschwindigkeiten sowie sekundäre Flussmuster (Vortices) v. a. distal der Stenose in der Aorta descendens, welche im Bereich der ISTA (*Pfeile*) diskret erhöhte Flussgeschwindigkeiten zeigen

erlauben neue technische Entwicklungen, wie die geräteseitige Weiterentwicklung mit Dual-Energy, Spektral- oder Photon-Counting-Scannern, eine weitere Verbesserung der Bildqualität inklusive einer weiteren Reduktion von Artefakten [26,32,44], z. B. durch Kalk oder metallisches Fremdmaterial (v. a. Stents).

Neben dem klinisch etablierten Agaston-Score werden auch quantitative funktionelle Parameter beforscht. Hier gibt es vielversprechende Ergebnisse zur CT-basierten fraktionellen Flussreserve (CT-FFR; ■ **Abb. 3**; [19]) – dem Pendant zur mittels invasiver Druckmessung im Herzkatheter bestimmten FFR [27]. Die FFR gibt das Verhältnis des mittleren arteriellen Drucks hinter einer Koronarstenose im Vergleich zum maximalen Druck vor der Stenose unter Adenosinbelastung an und wird mittlerweile als Goldstandard zur Ermittlung der hämodynamischen Relevanz einer Koronarstenose angesehen [23].

Die Durchführung einer CT-Perfusion ist ebenfalls mittels pharmakologischer Induktion möglich. Auch hier sind erste Ergebnisse vielversprechend, aber angesichts der Verfügbarkeit alternativer Tests (insbesondere der CMR, aber auch der Myokardszintigraphie und Stress-Echokardiographie) ist diese Untersuchung nur in Einzelfällen indiziert. Die europäischen Leitlinienempfehlungen zum Einsatz der CT beschränken sich aktuell auf die etablierte anatomisch-morphologische Bildgebung. In den aktuellen AHA-Leitlinien zum Thoraxschmerz von 2021 wird auch die ergänzende CT-FFR aufgeführt, deren Bestimmung in den USA auch vergütet wird.

Magnetresonanztomographie

Die kardiale Magnetresonanztomographie gehört mit zu den aufwändigsten bildgebenden radiologischen Untersuchungen in Bezug auf Zeit und Durchführung. Obwohl im direkten Vergleich weniger breit verfügbar und durch längere Untersuchungsdauer weniger gut für die Notfallversorgung geeignet, hat sich in Deutschland ein flächendeckendes Netz aus zertifizierten Zentren und Experten etabliert [41]. Dementsprechend werden Patienten mit der CMR häufig in einem

Tab. 1 Traditionelle klinische Klassifizierung von vermuteten anginösen Symptomen. (Nach [31])	
Typische Angina	Erfüllt die folgenden drei Merkmale:
	1. Beklemmende Beschwerden im vorderen Teil der Brust oder in Hals, Kiefer, Schulter oder Arm
	2. Ausgelöst durch körperliche Anstrengung
	3. Linderung durch Ruhe oder Nitrate innerhalb von 5 min
Atypische Angina	Erfüllt zwei der genannten Merkmale
Nichtanginöse Brustschmerzen	Erfüllt nur eines oder keines der genannten Merkmale

elektiven Setting und nach Durchführung von Basisdiagnostik untersucht.

Die Stärken der MRT liegen bezüglich der KHK-Diagnostik vor allem in der funktionellen Beurteilung der Herzperfusion (■ Abb. 4), der Differenzierung von akut und chronisch verändertem Myokard (■ Abb. 5) sowie der dynamischen Beurteilung der Funktion (■ Abb. 6). Hierdurch resultiert eine erhöhte Spezifität im Vergleich zu morphologischen Verfahren (CT, HKU) für das Vorliegen einer hämodynamisch relevanten Koronarstenose (■ Abb. 4), entzündlicher und fibrosierender Myokardveränderungen (■ Abb. 5) sowie den hiermit assoziierten Pathologien. Des Weiteren liefert die CMR Informationen über Kinetik und Blutfluss mit der Möglichkeit zur Quantifizierung dieser (■ Abb. 6). Alternative, auf funktionale Aspekte fokussierte Untersuchungsmodalitäten sind die Single-Photon-Emissions-Computertomographie (SPECT), die Positronen-Emissions-Tomographie (PET)/CT und die Stress-Echokardiographie, welche jedoch einzeln nicht alle Informationen der MRT liefern können.

Auch für die CMR sind technischen Anforderungen und Untersuchungsprotokolle zunehmend standardisiert, und es liegen Empfehlungen entsprechender Fachgesellschaften vor [33]. Moderne 1,5- und 3-T-MRT-Scanner – wie sie in radiologischen Institutionen vorgehalten werden – erlauben in der Regel die Durchführung von CMR-Untersuchungen. Gleichzeitig ist eine Vielzahl medizinischer Implantate, insbesondere orthopädische Prothesen und Herzschrittmacher, inzwischen bedingt oder vollständig MRT-sicher (*MR-conditional*; *MR-safe*). So kann auch dieses Patientenkollektiv nach entsprechender Vorbereitung und Befolgung der spezifischen Herstellerangaben ei-

ner MRT-Untersuchung zugeführt werden [42]. Auch für die MRT liegen unterstützende Dokumente zu Befundungsstandards von 2009, welche aktuell überarbeitet werden [28], sowie strukturierte Befundungstemplates der Arbeitsgemeinschaft Herz- und Gefäßdiagnostik der DRG vor [6].

Leitsymptome

Anhand typischer Leitsymptome werden im Folgenden Anwendungsbeispiele für die kardiale CT und MRT vorgestellt. Der Fokus liegt dabei auf sehr häufigen Pathologien, zu denen eine Aktualisierung der Leitlinien stattgefunden hat.

Stabiler/chronischer Brustschmerz

Die stabile Angina pectoris ist das Leitsymptom des chronischen Koronarsyndroms („chronic coronary syndrome“, CCS). Die Symptome bei Angina pectoris sind in der Regel im Brustkorb in der Nähe des Brustbeins lokalisiert, können aber überall vom Epigastrium, bis zum Unterkiefer oder im Arm auftreten. Sie werden häufig als „Brennen“ oder „Engegefühl“ beschrieben, dauern in den meisten Fällen weniger als 10 min an und sind mit körperlicher Belastung assoziiert. Klinisch ist die Unterscheidung zwischen stabiler und instabiler Angina essenziell und für das weitere Procedere entscheidend [31]. Viele Patienten mit einem CCS und demzufolge nun stabiler Angina pectoris hatten in der Vergangenheit eine Phase mit instabiler Angina [31].

Die CCTA hat unter den nichtinvasiven Tests die höchste Sensitivität und v. a. den höchsten negativ-prädiktiven Wert zum Ausschluss einer obstruktiven koronaren Herzerkrankung (■ Abb. 1). In der klini-

schen Routine werden in der Regel noch eine Echokardiographie und ein Ruhe-EKG vorgeschaltet. Die Auswahl des geeigneten diagnostischen Verfahrens hängt im Wesentlichen von der Vortestwahrscheinlichkeit ab, die anhand von Alter, Geschlecht und Charakter der Beschwerden (■ Tab. 1) abgeschätzt werden kann [31].

Der notwendige Schwellenwert einer *Vortestwahrscheinlichkeit von >85% (hohes Risiko)*, um primär eine invasive HKU erwägen zu können, wird nach der Aktualisierung nur noch selten erreicht, sodass in aller Regel die nichtinvasive Bildgebung für die Primärdiagnostik der KHK indiziert ist. Die HKU wird nur noch als Alternative zur nichtinvasiven Primärdiagnostik bei hoher klinischer Vortestwahrscheinlichkeit empfohlen, die kaum noch einem Patienten mit stabilem CCS zuzuordnen ist. Bei Patienten mit einer *Vortestwahrscheinlichkeit von 15–85% (mittleres Risiko)* werden laut den ESC-Leitlinien von 2019 zur Primärdiagnostik einer stabilen KHK sowohl die CCTA als morphologisches Verfahren oder funktionelle Verfahren (Stress-CMR, Stress-Echokardiographie, Myokardszintigraphie) empfohlen. Die CCTA sollte hierbei v. a. für die Patienten mit niedriger bis mittlerer intermediärer Vortestwahrscheinlichkeit (<50%) eingesetzt werden und die funktionellen Verfahren eher für die Patienten mit höherer klinischer Vortestwahrscheinlichkeit (>50%), die nach den neu ermittelten Vortestwahrscheinlichkeiten ebenfalls nur noch von wenigen Patienten erreicht werden [22].

Die Auswahl der Modalität sollte weiterhin von der lokalen Expertise bzw. der erwarteten patientenspezifischen Untersuchungsqualität abhängen. Bei Patienten mit unklarer Signifikanz der KHK nach einer CCTA sollte ein funktionelles Verfahren, z. B. eine CMR oder Myokardszintigraphie, durchgeführt werden.

Selbst bei Patienten mit einer *Vortestwahrscheinlichkeit von 5–15% (geringes Risiko)* kann eine nichtinvasive Diagnostik nach den neuen Leitlinien indiziert sein. Zu den bekannten Berechnungsfaktoren wie Alter, Geschlecht und Beschwerdesymptomatik werden dann zusätzlich noch die kardialen Risikofaktoren (arterielle Hypertonie, Diabetes mellitus, Hyperlipoproteinämie, Nikotinabusus oder eine positive



Abb. 7 ▲ Präinterventionelle CT zur Planung einer Tanskatheter-Aortenklappen-Implantation (TAVI) eines Patient nach 4facher aortokoronarer Bypassoperation und proximal verschlossenem Bypass auf dem Ramus interventricularis anterior (RIVA, LAD). Darstellung als 3D-Reformation (a, b), gekrümmte multiplanare Reformation des verschlossenen Bypassgefäßes mit minimaler proximaler und partieller retrograder Kontrastierung (c) sowie axiales Bild auf Höhe der proximalen Anastomose (d). Der ehemalige Verlauf ist in (b) markiert. Die ehemalige Anastomosestelle ist proximal als *Kontrastmittelnase* noch gut kontrastiert und damit gut zu erkennen (*Pfeil* in a, d)

Familienanamnese) und die Ergebnisse bereits durchgeführter Voruntersuchungen (z. B. Echokardiographie, Belastungs-EKG oder auch ein Kalziumscoring) mitberücksichtigt, um die sog. *klinische Wahrscheinlichkeit* zu ermitteln. Sind diese Faktoren vorhanden, erhöht sich die klinische Wahrscheinlichkeit entsprechend. Die Stärke der CCTA liegt vor allem im Ausschluss einer KHK, weshalb sie insbesondere bei Patienten mit niedrigem bis mittlerem Risiko bevorzugt eingesetzt werden sollte. Auch bei jungen Patienten übertrifft der Nutzen einer korrekten Diagnose die mit der Strahlenexposition einhergehenden Risiken [22, 24, 31]. Bei Patienten mit einer *Vortestwahrscheinlichkeit* von $< 5\%$ (*sehr geringes Risiko*) sollte hingegen keine weitere Diagnostik durchgeführt werden [31].

Der Stellenwert des Kalziumscorings bei symptomatischen Patienten ist unklar. Weder die oft postulierte *Gatekeeper-Funktion* noch die fehlende diagnostische Aussagekraft der CCTA bei hoher Kalklast lassen sich zweifelsfrei belegen [18–20]. Die Leitlinie empfiehlt zwar bei

hoher Kalklast eher von der CCTA abzu-sehen [31], doch kann auch bei einem sehr hohen Kalziumscore (> 1000) der Ausschluss einer obstruktiven KHK noch immer möglich sein [18]. Eine native CT zum Kalziumscoring kann dennoch durchgeführt werden, um einen zusätzlichen Risikoparameter zu generieren und ggf. eine frühzeitige Indikation für eine funktionelle Untersuchung, z. B. eine Stress-CMR, zu stellen. Auch kann anhand des Kalziumscorings eine präzisere Planung der CCTA erfolgen und so eine Dosisersparnis von bis zu 16% erzielt werden [34].

Akuter Brustschmerz

Der akute Brustschmerz ist eines der häufigsten in der Akutmedizin anzutreffenden Symptome und hinweisend für das Vorliegen eines akuten Koronarsyndroms (ACS). Unter dem Sammelbegriff ACS werden der Herzstillstand, elektrische oder hämodynamische Instabilität mit kar-

diogenem Schock aufgrund anhaltender Ischämie oder mechanischer Komplikationen wie einer schweren Mitralinsuffizienz, bis hin zu Patienten, die zum Zeitpunkt der Vorstellung bereits wieder schmerzfrei sind, zusammengefasst. Etwa 50% der Patienten mit akutem Brustschmerz leiden an einer primär kardialen Pathologie. Die anderen 50% der Patienten leiden an extrakardialen Ursachen, wie der Lungenarterienembolie oder einer akuten Aortendissektion, die gut mit der CT diagnostiziert werden können. Die Abgrenzung zur stabilen Angina pectoris kann u. a. durch folgende Charakteristika erfolgen:

- länger andauernde (> 20 min) Brustbeschwerden in Ruhe oder minimaler Belastung,
- eine neu aufgetretene (de novo) Angina pectoris (< 3 Monate),
- eine Symptomverschlechterung einer zuvor stabilen Angina pectoris,
- eine Angina pectoris nach Myokardinfarkt [7].

Wichtige Differenzialdiagnosen umfassen, wie schon erwähnt, die Lungenarterienembolie, die Aortendissektion und den Spannungspneumothorax [7], aber auch die akute Myokarditis, die Sarkoidose und die Tako-Tsubo-Kardiomyopathie – letztere können gut mit der CMR diagnostiziert werden.

Die Rolle der Bildgebung liegt beim akuten Brustschmerz v. a. in der Sicherung der Diagnose nach erfolgter Basisdiagnostik und daraus gefolgerter Verdacht auf eine kardiovaskuläre Erkrankung. Beim ST-Hebungsinfarkt ist weiterhin eine unmittelbare Rekanalisierung mittels Herzkatheter indiziert. Bei Patienten mit niedriger bis mittlerer klinischer Wahrscheinlichkeit bezüglich des Vorliegens einer KHK und unauffälligem bzw. nicht eindeutigen Troponin- und/oder EKG-Befund wird nun erstmalig auch die CCTA als alternatives Untersuchungsverfahren zur HKU empfohlen. Die CCTA hat einen hohen negativen Vorhersagewert für den Ausschluss einer KHK und damit für das Vorliegen eines ACS [7, 21]. Dementsprechend ist die CCTA weniger nützlich bei Patienten, bei denen bereits eine KHK bekannt ist [7]. Darüber hinaus ist der Einsatz der CCTA in der Akutsituation bei Patienten mit Stents

oder einer vorangegangenen koronaren Bypassoperation bisher nicht ausreichend wissenschaftlich validiert. Für den Einsatz der CCTA im akuten Setting spricht, dass auch die oben genannten, potenziell letalen und therapeutisch zeitkritischen Differenzialdiagnosen ausgeschlossen werden können.

Der Zeitfaktor ist auch die wesentliche Einschränkung beim Einsatz der CMR in der Akutsituation. Obwohl die kardiale MRT einen Myokardinfarkt mit hoher Sensitivität und Spezifität direkt nachweisen kann, spielt sie im akuten Notfallsetting, auch bedingt durch die unmittelbare Verfügbarkeit der CT, eine untergeordnete Rolle. Einsatzfelder der CMR sind etwa die Vitalitätsbeurteilung vor Koronarintervention [30] oder nach erfolgter Koronarintervention zur Risikostratifizierung [8], der Nachweis einer „culprit lesion“ oder der Myokardinfarkt ohne obstruktive Koronare Herzerkrankung („myocardial infarction with nonobstructive coronary arteries“, MINOCA; [9]). Bei Letzterem ist die CMR eines der wichtigsten Diagnoseinstrumente, da sie bei mehr als 85 % der Patienten die zugrundeliegende Ursache identifiziert [7, 21], wie z. B. eine akute Myokarditis, eine kardiale Sarkoidose, ein Tako-Tsubo-Kardiomyopathie oder eben eine MINOCA.

Leistungsminderung

Unter das unspezifische Symptom Leistungsminderung fällt ein breites Spektrum an Herzerkrankungen und nichtkardialen Pathologien. Dementsprechend ist hier eine klinische Evaluation inklusive Anamnese und einer Basisdiagnostik vor Durchführung einer radiologischen Schnittbildgebung besonders wichtig. Die geäußerte Verdachtsdiagnose bestimmt dann wie auch in anderen Szenarien die Auswahl der Modalität und des Untersuchungsprotokolls.

Die klinische Präsentation von Patienten mit Myokarditis ist sehr variabel. Sie kann von chronischer Fatigue mit Leistungsminderung, bis hin zu akutem Brustschmerz mit Symptomen einer Herzinsuffizienz und erhöhten Troponinwerten reichen – dann ist die Myokarditis eine Differenzialdiagnose zum ACS. Bei Verdacht auf eine Myokarditis ist die CMR das diagnostische Mittel der ersten Wahl. Der

Einsatz von Mapping zum Nachweis einer Myokardentzündung wird in diesem Zusammenhang dringend empfohlen, da es sich positiv auf die diagnostische Genauigkeit, insbesondere auch die Intra- und Interobservervariabilität, auswirkt [13, 46]. In ähnlicher Weise kann die CMR für die Identifizierung verschiedener chronischer Entzündungszustände – von chronischer Myokarditis, über Sarkoidose bis hin zu HIV-assoziierten myokardialen Erkrankung – zum Ausschluss eines Entzündungsfokus als Ursprung für aufgetretene Arrhythmien nützlich sein.

Die Basisdiagnostik für Patienten mit V.a. auf eine Herzklappenstenose oder -insuffizienz ist unverändert die Echokardiographie. Sind die Ergebnisse der Echokardiographie inkonklusiv, ist die CMR die Methode der Wahl, um den Schweregrad von Herzklappenläsionen und insbesondere die Regurgitationsfraktion zu bestimmen. Die erhobenen Funktionsparameter können entscheidend für die Indikationen einer operativen Therapie sein. Darüber hinaus stellt die CMR den Goldstandard für die Funktionsbeurteilung des Ventrikelvolumens, insbesondere des rechten Ventrikels und etwaiger Myokardfibrosen, dar. Die Rolle der CT fokussiert sich primär auf die Umfelddiagnostik. Diese sollte durchgeführt werden, wenn in der Echokardiographie ein Aortendiameter von > 40 mm vermutet wird. Für die Planung von Transkatheter-Aortenklappen-Implantation (TAVI) ist sie unerlässlich (■ Abb. 7). Außerdem wird sie als Minor Kriterium in der Diagnose einer hochgradigen Aortenklappenstenose (Kalziumscoring) und zur Diagnosesicherung/Verlaufsbeurteilung einer Thrombose der Klappenprothese eingesetzt. Des Weiteren empfehlen sowohl die ESC- als auch die ACC/AHA-Leitlinien die CCTA zum Ausschluss einer KHK vor Klappeninterventionen [38, 45].

Bei Patienten mit Verdacht auf eine Herzinsuffizienz sollten in der Primärdiagnostik eine transthorakale Echokardiographie und ein Röntgenbild des Thorax durchgeführt werden. Eine kardiale MRT wird bei Patienten mit schlechtem akustischem Fenster in der Echokardiographie und bei Verdacht auf eine zugrundeliegende Kardiomyopathie, Hämochromatose, Amyloidose oder Myokarditis empfoh-

len. Generell wird die CMR bei Verdacht auf eine nichtischämische Kardiomyopathie zur Sicherung der Diagnose, Einordnung der Entität und zur Funktionsbeurteilung des Myokards eingesetzt (■ Abb. 4 und 3). Die CCTA kann wiederum auch in diesem Kontext zum Ausschluss einer koronaren Herzkrankheit herangezogen werden [25, 36].

Weitere Anwendungsgebiete

Weitere Indikationen für kardiale Schnittbildgebung sind die Evaluation von Perikarderkrankungen und intrakardialen Thromben. Die ESC-Leitlinien für Perikarderkrankungen von 2015 empfehlen nachdrücklich die CT und/oder die CMR als zweite Stufe der diagnostischen Abklärung bei einer Perikarditis [2].

Kardiale Thromben werden regelhaft mittels transthorakaler oder transösophagealer Echokardiographie untersucht, die Sensitivität und Spezifität der CMR ist aber als gleichwertig anzusehen [43] und nur sinnvoll, wenn echokardiographisch nicht beurteilbar.

Die Betreuung von Patienten mit angeborenen Herzfehlern sollte in aller Regel an Zentren mit entsprechender Expertise in Diagnostik und Therapie erfolgen. Auch bei diesen Patienten stellen die Echokardiographie und das Röntgenbild des Thorax die Basis der bildgebenden Diagnostik dar. Die CMR hat eine zentrale Bedeutung für die zuverlässige Bestimmung und Verlaufsbeurteilung von Ventrikelvolumina, Auswurfleistung, systemischem und pulmonalem Blutfluss sowie von Shuntvolumina. Die CT als primär morphologisches Verfahren wird in der Regel für spezifischere Indikationen, welche die Morphologie betreffen, insbesondere postoperativ und in der Notfalldiagnostik herangezogen und ist natürlich auch in dieser Patientengruppe besonders geeignet für die Beurteilung koronararterieller Pathologien (■ Abb. 2) und die präzise Visualisierung von aortopulmonalen Kollateralen [4].

Fazit für die Praxis

- Die Aktualisierung der Leitlinien zur Diagnostik und Therapie des akuten und chronischen Koronarsyndroms definieren die kardiale Computertomographie (CT) und Magnetresonanztomographie (MRT)

als hochsensitive und -spezifische Schlüsselmodalitäten.

- Die CT-Koronarangiographie (CCTA) – häufig gepaart mit nativem Kalziumscoring – ist sowohl in der Akut- als auch Elektivmedizin ein verlässlicher Eckpfeiler des diagnostischen Algorithmus der koronaren Herzkrankheit (KHK). Sie ist bei stabiler Angina pectoris als auch bei akutem Brustschmerz ohne ST-Hebung in den meisten Fällen die Modalität der ersten Wahl („first line“) und dient als *Gatekeeper* für die funktionellen nichtinvasiven Verfahren.
- Die Stärke der MRT ist die Funktionsbeurteilung des Myokards und die Differenzierung von Myokardveränderungen. Sie nimmt bei der KHK die Rolle einer *Second-line*-Untersuchungsmethode, z. B. bei eingeschränkter Beurteilbarkeit der CCTA aufgrund hoher Kalklast, bzw. als ergänzende Untersuchungsmethode zur Differenzialdiagnose beim Ausschluss einer KHK ein.
- Die MRT ist die First-line-Untersuchungsmethode bei Pathologien aus dem Formenkreis der entzündlichen Herzerkrankungen, der Kardiomyopathien und von zentraler Bedeutung bei angeborenen Herzfehlern.

Korrespondenzadresse



PD Dr. med. Robin F. Gohmann

Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Herzzentrum Leipzig GmbH
Strümpellstr. 39, 04289 Leipzig, Deutschland
robin.gohmann@gmx.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. M. Gutberlet: Honorare erhalten für wissenschaftliche Vorträge und Fortbildungen von Bayer, Bracco, Circle CVI, Edwards, Philips, Siemens. R.F. Gohmann und M.M. Sieren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autor/-innen keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Abbara S, Blanke P, Maroules CD, Cheezum M, Choi AD, Han BK, Marwan M, Naoum C, Norgaard BL, Rubinshtein R, Schoenhagen P, Villines T, Leipsic J (2016) SCCT guidelines for the performance and acquisition of coronary computed tomographic angiography: a report of the Society of Cardiovascular Computed Tomography Guidelines Committee: endorsed by the North American Society for Cardiovascular Imaging (NASCI). *J Cardiovasc Comput Tomogr* 10(6):435–449. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.10.002>
2. Adler Y, Charron P, Imazio M, Badano L, Barón-Esquivias G, Bogaert J, Brucato A, Gueret P, Klingel K, Lionis C, Maisch B, Mayosi B, Pavie A, Ristic AD, Sabaté Tenas M, Seferovic P, Swedberg K, Tomkowski W (2015) 2015 ESC guidelines for the diagnosis and management of pericardial diseases: the Task Force for the Diagnosis and Management of Pericardial Diseases of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: the European Association for Cardio-Thoracic Surgery (EACTS). *Eur Heart J* 36(42):2921–2964. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv318>
3. Agatston AS, Janowitz WR, Hildner FJ, Zusmer NR, Viamonte M, Detrano R (1990) Quantification of coronary artery calcium using ultrafast computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 15(4):827–832. [https://doi.org/10.1016/0735-1097\(90\)90282-t](https://doi.org/10.1016/0735-1097(90)90282-t)
4. Baumgartner H, de Backer J, Babu-Narayan SV, Budts W, Chessa M, Diller G-P, Lung B, Kluin J, Lang IM, Meijboom F, Moons P, Mulder BJM, Oechslin E, Roos-Hesselink JW, Schwerzmann M, Sondergaard L, Zeppenfeld K (2021) 2020 ESC guidelines for the management of adult congenital heart disease. *Eur Heart J* 42(6):563–645. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa554>
5. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Jilaihawi H, Marwan M, Norgaard BL, Piazza N, Schoenhagen P, Leipsic JA (2019) Computed tomography imaging in the context of transcatheter aortic valve implantation (TAVI) / transcatheter aortic valve replacement (TAVR): an expert consensus document of the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 13(1):1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.11.008>
6. Bunck AC, Baeßler B, Ritter C, Kröger JR, Persigehl T, Pinto Santos D, Steinmetz M, Niehaus A, Bamberg F, Beer M, Ley S, Tiemann K, Beerbaum P, Maintz D, Lotz J (2020) Strukturierte Befundung in der Schnittbilddiagnostik des Herzens: Befundvorlagen für die MRT bei Kardiomyopathien (Myokarditis, dilatative Kardiomyopathie, hypertrophe Kardiomyopathie, arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie und Siderose). *Rofo* 192(1):27–37. <https://doi.org/10.1055/a-0998-4116>
7. Collet J-P, Thiele H, Barbato E, Barthélémy O, Bauersachs J, Bhatt DL, Dendale P, Dorobantu M, Edvardsen T, Folliguet T, Gale CP, Gilard M, Jobs A, Jüni P, Lambrinou E, Lewis BS, Mehilli J, Meliga E, Merkely B, Mueller C, Roffi M, Rutten FH, Sibbing D, Siontis GCM (2021) 2020 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J* 42(14):1289–1367. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa575>
8. Eitel I, Desch S, Sareban M, Fuernau G, Gutberlet M, Schuler G, Thiele H (2009) Prognostic significance and magnetic resonance imaging findings in aborted myocardial infarction after primary angioplasty. *Am Heart J* 158(5):806–813. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2009.08.025>
9. Eitel I, Behrendt F, Schindler K, Gutberlet M, Schuler G, Thiele H (2009) Takotsubo cardiomyopathy or myocardial infarction? Answers from delayed enhancement magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol* 135(1):e9–e12. <https://doi.org/10.1016/j.ijcard.2008.03.025>
10. Esposito A, Gallone G, Palmisano A, Marchitelli L, Catapano F, Francone M (2020) The current landscape of imaging recommendations in cardiovascular clinical guidelines: toward an imaging-guided precision medicine. *Radiol Med* 125(11):1013–1023. <https://doi.org/10.1007/s11547-020-01286-9>
11. Ferencik M, Mayrhofer T, Puchner SB, Lu MT, Maurovich-Horvat P, Liu T, Ghemigian K, Kitslaar P, Broersen A, Bamberg F, Truong QA, Schlett CL, Hoffmann U (2015) Computed tomography-based high-risk coronary plaque score to predict acute coronary syndrome among patients with acute chest pain—results from the ROMICAT II trial. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 9(6):538–545. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.07.003>
12. Ferencik M, Mayrhofer T, Bittner DO, Emami H, Puchner SB, Lu MT, Meyersohn NM, Ivanov AV, Adami EC, Patel MR, Mark DB, Udelson JE, Lee KL, Douglas PS, Hoffmann U (2018) Use of high-risk coronary atherosclerotic plaque detection for risk stratification of patients with stable chest pain: a secondary analysis of the PROMISE randomized clinical trial. *JAMA Cardiol* 3(2):144–152. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2017.4973>
13. Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, Kramer CM, Carbone I, Sechtem U, Kindermann I, Gutberlet M, Cooper LT, Liu P, Friedrich MG (2018) Cardiovascular magnetic resonance in nonischemic myocardial inflammation: expert recommendations. *J Am Coll Cardiol* 72(24):3158–3176. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2018.09.072>
14. Foldyna B, Szilveszter B, Scholtz J-E, Banerji D, Maurovich-Horvat P, Hoffmann U (2018) CAD-RADS—a new clinical decision support tool for coronary computed tomography angiography. *Eur Radiol* 28(4):1365–1372. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5105-4>

15. Foldyna B, Udelson JE, Karády J, Banerji D, Lu MT, Mayrhofer T, Bittner DO, Meyersohn NM, Emami H, Genders TSS, Forgyce CB, Ferencik M, Douglas PS, Hoffmann U (2019) Pretest probability for patients with suspected obstructive coronary artery disease: re-evaluating Diamond-Forrester for the contemporary era and clinical implications: insights from the PROMISE trial. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 20(5):574–581. <https://doi.org/10.1093/ehjci/je1182>
16. Foldyna B, Uhlig J, Gohmann R, Lücke C, Mayrhofer T, Lehmkühl L, Natale L, Vliegenthart R, Lotz J, Salgado R, Francome N, Loewe C, Nikolaou K, Bamberg F, Maintz D, Maurovich-Horvat P, Thiele H, Hoffmann U, Gutberlet M (2022) Quality and safety of coronary computed tomography angiography at academic and non-academic sites: insights from a large European registry (ESCR MR/CT Registry). *Eur Radiol* 32(8):5246–5255. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-08639-0>
17. Francone M, Budde RPJ, Bremerich J, Dacher JN, Loewe C, Wolf F, Natale L, Pontone G, Redheuil A, Vliegenthart R, Nikolaou K, Gutberlet M, Salgado R (2020) CT and MR imaging prior to transcatheter aortic valve implantation: standardisation of scanning protocols, measurements and reporting—a consensus document by the European Society of Cardiovascular Radiology (ESCR). *Eur Radiol* 30(5):2627–2650. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06357-8>
18. Gohmann RF, Lauten P, Seitz P, Kriehoff C, Lücke C, Gottschling S, Mende M, Weiß S, Wilde J, Kiefer P, Noack T, Desch S, Holzhey D, Borger MA, Thiele H, Abdel-Wahab M, Gutberlet M (2020) Combined coronary CT-angiography and TAVI-planning: a contrast-neutral routine approach for ruling-out significant coronary artery disease. *J Clin Med* 9(6):1623. <https://doi.org/10.3390/jcm9061623>
19. Gohmann RF, Pawelka K, Seitz P, Majunke N, Heiser L, Renatus K, Desch S, Lauten P, Holzhey D, Noack T, Wilde J, Kiefer P, Kriehoff C, Lücke C, Gottschling S, Ebel S, Borger MA, Thiele H, Panknin C, Horn M, Abdel-Wahab M, Gutberlet M (2022) Combined cCTA and TAVR planning for ruling out significant CAD: added value of ML-based CT-FFR. *JACC Cardiovasc Imaging* 15(3):476–486. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2021.09.013>
20. Gottlieb I, Miller JM, Arbab-Zadeh A, Dewey M, Clouse ME, Sara L, Niinuma H, Bush DE, Paul N, Vavere AL, Texter J, Brinker J, Lima JAC, Rochitte CE (2010) The absence of coronary calcification does not exclude obstructive coronary artery disease or the need for revascularization in patients referred for conventional coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 55(7):627–634. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.07.072>
21. Gulati M, Levy PD, Mukherjee D, Amsterdam E, Bhatt DL, Birtcher KK, Blankstein R, Boyd J, Bullock-Palmer RP, Conejo T, Diercks DB, Gentile F, Greenwood JP, Hess EP, Hollenberg SM, Jaber WA, Jneid H, Joglar JA, Morrow DA, O'Connor RE, Ross MA, Shaw LJ (2021) 2021 AHA/ACC/AASEM/SCCT/SCMR guideline for the evaluation and diagnosis of chest pain: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 78(22):e187–e285. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.07.053>
22. Gutberlet M, Kriehoff C, Gohmann R, Lücke C (2019er) Die neuen 2019er-ESC-Leitlinien zur Diagnose und Management des chronischen Koronarsyndroms (CCS): Was ändert sich für die

Computed tomography and magnetic resonance imaging in cardiac diagnostics—how to choose the right modality. A guide based on the new guidelines of the European Society of Cardiology (ESC)

In the guideline updates of the European Society of Cardiology (ESC), noninvasive radiological cross-sectional imaging is taking an increasingly prominent role, while at the same time invasive diagnostic approaches are becoming less important. Especially for the diagnosis and treatment of chronic and acute coronary syndromes, there are fundamental changes in clinical routine. In addition, cross-sectional imaging also offers an alternative to diagnostic algorithms for other cardiac pathologies, especially echocardiography, which is increasingly used in the differential diagnosis of cardiac diseases. The radiologist should be aware of the recommendations of the current guidelines and encourage their establishment in clinical practice. This paper summarizes the indications of cross-sectional cardiac imaging with focus on new recommendations in the ESC guidelines and addresses specific strengths and weaknesses of each modality.

Keywords

Computed tomography · Coronary angiography · Cardiac magnetic resonance imaging · Coronary artery disease · Chest pain

- Bildgebung? *Radiol Up2date* 19(04):391–402. <https://doi.org/10.1055/a-0966-5977>
23. Gutberlet M, Kriehoff C, Gohmann R (2020) Werden die Karten der CT-Koronarangiographie mit der FFRCT neu gemischt? *Herz* 45(5):431–440. <https://doi.org/10.1007/s00059-020-04944-w>
 24. Haenel A, Stahlberg E, Sieren MM, Barkhausen J (2020) Computertomographie oder Magnetresonanztomographie zur Diagnostik des chronischen Koronarsyndroms? *Radiologie* 60(12):1114–1121. <https://doi.org/10.1007/s00117-020-00765-4>
 25. Heidenreich PA, Bozkurt B, Aguilar D, Allen LA, Byun JJ, Colvin MM, Deswal A, Drazner MH, Dunlay SM, Evers LR, Fang JC, Fedson SE, Fonarow GC, Hayek SS, Hernandez AF, Khazanie P, Kittleson MM, Lee CS, Link MS, Milano CA, Nwacheta LC, Sandhu AT, Stevenson LW, Vardeny O, Vest AR, Yancy CW (2022) 2022 AHA/ACC/HFSA guideline for the management of heart failure: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 79(17):e263–e421. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.12.012>
 26. Hickethier T, Baeßler B, Kroeger JR, Doerner J, Pahn G, Maintz D, Michels G, Bunck AC (2017) Monoenergetic reconstructions for imaging of coronary artery stents using spectral detector CT: in-vitro experience and comparison to conventional images. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 11(1):33–39. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.12.005>
 27. Hlatky MA, de Bruyne B, Pontone G, Patel MR, Norgaard BL, Byrne RA, Curzen N, Purcell I, Gutberlet M, Rioufol G, Hink U, Schuchlenz HW, Feuchtner G, Gilard M, Andreini D, Jensen JM, Hadamitzky M, Wilk A, Wang F, Rogers C, Douglas PS (2015) Quality-of-life and economic outcomes of assessing fractional flow reserve with computed tomography angiography: PLATFORM. *J Am Coll Cardiol* 66(21):2315–2323. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2015.09.051>
 28. Hundley WG, Bluemke D, Bogaert JG, Friedrich MG, Higgins CB, Lawson MA, McConnell MW, Raman SV, van Rossum AC, Flamm S, Kramer CM, Nagel E, Neubauer S (2009) Society for cardiovascular magnetic resonance guidelines for reporting cardiovascular magnetic resonance examinations. *J Cardiovasc Magn Reson* 11:5. <https://doi.org/10.1186/1532-429X-11-5>
 29. Juarez-Orozco LE, Saraste A, Capodanno D, Prescott E, Ballo H, Bax JJ, Wijns W, Knuuti J (2019) Impact of a decreasing pre-test probability on the performance of diagnostic tests for coronary artery disease. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging* 20(11):1198–1207. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez054>
 30. Kim RJ, Wu E, Rafael A, Chen EL, Parker MA, Simonetti O, Klocke FJ, Bonow RO, Judd RM (2000) The use of contrast-enhanced magnetic resonance imaging to identify reversible myocardial dysfunction. *N Engl J Med* 343(20):1445–1453. <https://doi.org/10.1056/NEJM200011163432003>
 31. Knuuti J, Wijns W, Saraste A, Capodanno D, Barbato E, Funck-Brentano C, Prescott E, Storey RF, Deaton C, Cuisset T, Agewall S, Dickstein K, Edvardsen T, Escaned J, Gersh BJ, Svitol P, Gilard M, Hasdai D, Hatala R, Mahfoud F, Masip J, Muneretto C, Valgimigli M, Achenbach S, Bax JJ (2020) 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 41(3):407–477. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>
 32. Koons E, VanMeter P, Rajendran K, Yu L, McColough C, Leng S (2022) Improved quantification of coronary artery luminal stenosis in the presence of heavy calcifications using photon-counting detector CT. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*. <https://doi.org/10.1117/12.2613019>
 33. Kramer CM, Barkhausen J, Bucciarelli-Ducci C, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E (2020) Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 22(1):17. <https://doi.org/10.1186/s12968-020-00607-1>
 34. Leschka S, Kim C-H, Baumüller S, Stolzmann P, Scheffel H, Marinček B, Alkadhi H (2010) Scan length adjustment of CT coronary angiography using the calcium scoring scan: effect on radiation

- dose. *AJR Am J Roentgenol* 194(3):W272–W277. <https://doi.org/10.2214/AJR.09.2970>
35. Maron DJ, Hochman JS, Reynolds HR et al (2020) Initial invasive or conservative strategy for stable coronary disease. *N Engl J Med* 382(15):1395–1407. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1915922>
 36. McDonagh TA, Metra M, Adamo M et al (2021) 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 42(36):3599–3726. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>
 37. Nørgaard BL, Leipsic J, Gaur S, Seneviratne S, Ko BS, Ito H, Jensen JM, Mauri L, de Bruyne B, Bezerra H, Osawa K, Marwan M, Naber C, Erglis A, Park S-J, Christiansen EH, Kaltoft A, Lassen JF, Bøtker HE, Achenbach S (2014) Diagnostic performance of noninvasive fractional flow reserve derived from coronary computed tomography angiography in suspected coronary artery disease: the NXT trial (analysis of coronary blood flow using CT angiography: next steps). *J Am Coll Cardiol* 63(12):1145–1155. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2013.11.043>
 38. Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP, Gentile F, Jneid H, Krieger EV, Mack M, McLeod C, O’Gara PT, Rigolin VH, Sundt TM, Thompson A, Toly C (2021) 2020 ACC/AHA guideline for the management of patients with valvular heart disease: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 77(4):e25–e197. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2020.11.018>
 39. Reeh J, Therning CB, Heitmann M, Højberg S, Sørum C, Bech J, Husum D, Dominguez H, Sehested T, Hermann T, Hansen KW, Simonsen L, Galatius S, Prescott E (2019) Prediction of obstructive coronary artery disease and prognosis in patients with suspected stable angina. *Eur Heart J* 40(18):1426–1435. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy806>
 40. Schuhbaeck A, Schmid J, Zimmer T, Muschiol G, Hell MM, Marwan M, Achenbach S (2016) Influence of the coronary calcium score on the ability to rule out coronary artery stenoses by coronary CT angiography in patients with suspected coronary artery disease. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 10(5):343–350. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2016.07.014>
 41. Sieren MM, Maintz D, Gutberlet M, Krombach GA, Bamberg F, Hunold P, Lehmkuhl L, Fischbach K, Reinartz S, Antoch G, Barkhausen J, Sandstede J, Völker M, Naehle C (2022) Status der kardiovaskulären Bildgebung in Deutschland: Strukturierte Datenerhebung auf Basis des nationalen Zertifizierungsprogramms, des ESCR-Registers und einer Umfrage unter Radiologen. *Rofo* 194(2):181–191. <https://doi.org/10.1055/a-1554-9236>
 42. Sommer T, Bauer W, Fischbach K, Kolb C, Luechinger R, Wiegand U, Lotz J, Eitel I, Gutberlet M, Thiele H, Schild HH, Kelm M, Quick HH, Schulz-Menger J, Barkhausen J, Bänsch D (2017) MR-Untersuchungen bei Patienten mit Herzschrittmachern und implantierbaren Kardioverter-Defibrillatoren. *Fortschr Röntgenstr* 189(3):204–217. <https://doi.org/10.1055/s-0043-102029>
 43. Srichai MB, Junor C, Rodriguez LL, Stillman AE, Grimm RA, Lieber ML, Weaver JA, Smedira NG, White RD (2006) Clinical, imaging, and pathological characteristics of left ventricular thrombus: a comparison of contrast-enhanced magnetic resonance imaging, transthoracic echocardiography, and transesophageal echocardiography with surgical or pathological validation. *Am Heart J* 152(1):75–84. <https://doi.org/10.1016/j.ahj.2005.08.021>
 44. Symons R, Choi Y, Cork TE, Ahlman MA, Mallek M, Bluemke DA, Sandfort V (2018) Optimized energy of spectral coronary CT angiography for coronary plaque detection and quantification. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 12(2):108–114. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.01.006>
 45. Vahanian A, Beyersdorf F, Praz F, Milojevic M, Baldus S, Bauersachs J, Capodanno D, Conradi L, de Bonis M, de Paulis R, Delgado V, Freemantle N, Gilard M, Haugaa KH, Jeppsson A, Jüni P, Pierard L, Prendergast BD, Sádaba JR, Tribouilloy C, Wojakowski W (2022) 2021 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 43(7):561–632. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab395>
 46. Wetscherek MTA, Rutschke W, Frank C, Stehning C, Lurz P, Grothoff M, Thiele H, Gutberlet M, Lücke C (2020) High inter- and intra-observer agreement in mapping sequences compared to classical Lake Louise Criteria assessment of myocarditis by inexperienced observers. *Clin Radiol* 75(10):796.e17–796.e26. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2020.05.013>

Möchten Sie einen Beitrag einreichen?

Wir freuen uns, dass Sie unsere Zeitschrift *Die Radiologie* mitgestalten möchten.

Für folgende Rubriken können Manuskripte eingereicht werden:

- Quiz/Wie lautet Ihre Diagnose?
- Übersichten
- Original Articles (nur auf Englisch)

Um Ihnen bei der Manuskripterstellung behilflich zu sein, haben wir für unsere Autorinnen und Autoren ausführliche Autorenleitfäden und Musterbeiträge für die verschiedenen Rubriken zusammengestellt.

Diese und weitere Hinweise zur Manuskripterstellung finden Sie online unter dem Menüpunkt „For authors“ unter www.springer.com/journal/117.

Quiz:

Bitte reichen Sie Ihren fertigen Beitrag direkt per E-Mail ein bei:

Prof. Dr. Thomas Helmberger, München
Thomas.Helmberger@muenchen-klinik.de

Übersichten und Original Articles:

Bitte reichen Sie Ihre Manuskripte über das Einreichungssystem *Editorial Manager* ein. Wählen Sie hierzu auf der Zeitschriftenhomepage www.springer.com/journal/117 den Navigationspunkt „For authors“ und anschließend „Submit manuscript“.

Bei Fragen zur Manuskripteinreichung über den Editorial Manager wenden Sie sich bitte an Frau Mag. Ute Weber-Woisetschläger, MSc MA:

ute.weber-woisetschlaeger@
meduniwien.ac.at

