

Kardiologie 2021 · 15:147–152

<https://doi.org/10.1007/s12181-021-00465-w>

Angenommen: 3. Februar 2021

Online publiziert: 10. März 2021

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2021



Florian von Knobelsdorff

KIZ – Kardiologie im Zentrum, München, Deutschland

# Entwicklung kardiovaskuläre Medizin 2020: Kardiale Magnetresonanztomographie

Die kardiale Magnetresonanztomographie (MRT) hat sich als wichtiges nicht-invasives Diagnostikverfahren innerhalb der Kardiologie etabliert. Auch im letzten Jahr hat sich die Methode weiterentwickelt. Der Fortschritt betrifft die Gerätehardware, die Software zur Bildverarbeitung sowie die zunehmende Evidenz über den klinischen Stellenwert. Aktuelle Forschungsfelder sind beispielsweise die Beschleunigung der Bildaufnahme, der Einsatz von Hochfeld-, aber auch Niedrigfeldscannern für die kardiale MRT (z. B. 7 Tesla bzw. 0,55 Tesla), künstliche Intelligenz, quantitative Bildauswertung, kontrastmittelfreie Gewebeanalyse sowie die Kombination von MRT und Elektrophysiologie. Diese Zusammenfassung stellt beispielhaft drei interessante Studien vor, weist auf MRT-bezogene Positionspapiere und die Rolle der MRT in aktuellen kardiologischen Leitlinien hin und beschreibt den aktuellen Stand der MRT-Weiterbildung in Deutschland.

## Interessante Studien

### Kardiale Magnetresonanztomographie bei COVID-19

Bei COVID-19 werden neben der Erkrankung der Atemwege nicht selten kardiovaskuläre Begleitstörungen beobachtet. Diese können akut als Koronarsyndrom oder Herzinsuffizienz auftreten, aber auch Wochen und Monate nach überstandener Akutinfektion Symptome wie Leistungsminderung, Atemnot, Brustschmerzen und Herzrasen auslösen. Vermutete Pathomechanismen sind eine Karditis infolge einer direkten

viralen Infektion von Myokard und Endothel sowie Prozesse im Rahmen der generalisierten Inflammationsreaktion.

» Die kardiale MRT ist ein wichtiges Instrument bei der Diagnosestellung einer Myokarditis

Die kardiale Magnetresonanztomographie (MRT) hat sich als wichtiges Instrument bei der Diagnosestellung einer Myokarditis entwickelt. Puntmann und Nagel et al. von der Universität Frankfurt veröffentlichten 2020 eine viel beachtete MRT-Studie [1, 2]. Sie führten bei 100 Patienten nach überstandener COVID-19 eine kardiale MRT durch; 73 % der Patienten hatten erhöhte T1-Werte (Zeichen für Myokardödem und/oder diffuse Fibrose), 60 % erhöhte T2-Werte (Zeichen für Myokardödem), 32 % Late-Gadolinium-Enhancement im Myokard (Zeichen für fokale Fibrose) und 22 % im Perikard (Zeichen für Perikarditis). Die Autoren fassten zusammen, dass die kardiale MRT bei 78 % der Patienten nach stattgehabter COVID-19 eine kardiale Beteiligung und bei 60 % eine protrahierte myokardiale Inflammation nachwies. Zu ähnlichen Ergebnissen kam eine Beobachtungsstudie aus Wuhan, die bei 58 % der Patienten nach COVID-19 auffällige Werte für verschiedene MRT-Parameter des linken Ventrikels erhob [3].

Diese und andere Studien in diesem Themenbereich (z. B. kardiale MRT bei Sportlern mit COVID-19 [4]) riefen ein enormes Medienecho hervor. Die wich-

tigen Erkenntnisse wurden nicht selten undifferenziert verbreitet. Es gilt nun, in weiteren Studien die Beziehung von Herz und COVID-19 zu beobachten und mögliche Zusammenhänge zwischen auffälligen MRT-Messwerten einerseits und klinischem Verlauf, kardiovaskulären Ereignissen und Prognose andererseits zu analysieren.

### Was können wir für die Praxis lernen?

Die ESC-Herzinsuffizienz-Leitlinie aus dem Jahr 2016 empfiehlt bei Myokarditisverdacht die kardiale MRT mit Klasse I und Evidenzlevel C [5]. Diese Empfehlung gilt auch für Patienten mit Verdacht auf eine Myokarditis nach stattgehabter COVID-19. Basierend auf den oben genannten Studien sollten dabei moderne MRT-Methoden wie T1- und T2-Mapping zum Einsatz kommen.

### Kardiale Magnetresonanztomographie zur Risikoeinschätzung bei Aortenklappenstenose

Den richtigen Zeitpunkt für eine Intervention bei Patienten mit einer Aortenklappenstenose zu wählen ist nicht immer einfach, da die Symptomatik uneindeutig, der Stenosegrad grenzwertig oder die echokardiographischen Stenoseparameter inkonsistent sein können. Ein vielversprechender Biomarker zur Einschätzung der Prognose und somit zur Entscheidungsfindung ist das Ausmaß der myokardialen Fibrosierung [6]. Fokale Fibrose kann mit der Late-Gadolinium-Enhancement-Technik bestimmt werden, ist jedoch ein spätes und meist irreversibles Stadium des linksventrikulären Remodeling. Diesem geht häufig

eine diffuse Fibrosierung voraus, die reversibel sein kann. Diffuse Fibrose im Myokard kann mit der MRT-Technik „T1-Mapping“ erfasst werden. Ein daraus kalkulierter Parameter ist das „extrazelluläre Volumen“ (ECV), das meist als % des Myokardvolumens angegeben wird und bei Gesunden ca. 25 % beträgt. Mehr Fibrose bedeutet mehr extrazelluläres Volumen.

In einer wichtigen Studie wurde bei 440 Patienten mit symptomatischer, hochgradiger Aortenklappenstenose der Zusammenhang zwischen ECV und der Mortalität nach Aortenklappenintervention (85 % Klappenersatz, 15 % TAVI untersucht [7]). Vor dem Klappeneingriff erhielten sie eine kardiale MRT. Die Kohorte wurde in 3 ECV-Tertilen eingeteilt: ECV <26 %, ECV 26–29 % und ECV >29 %. Die Mortalität während des 4-jährigen Follow-up war bei ECV >29 % etwa 3-fach höher als bei ECV <26 %. ECV war ein starker, unabhängiger Prädiktor für die Gesamtmortalität auch nach Adjustierung u. a. für Alter, LV-EF, fokale Fibrose, STS-Risikoscore, koronare Herzkrankheit und NYHA-Klasse. Das Mortalitätsrisiko nahm pro 1 % ECV-Zunahme um 10 % zu.

Die Studie bereichert die Diskussion über den optimalen Zeitpunkt einer Klappenintervention. Zuletzt mehrten sich Hinweise, dass auch Patienten mit asymptomatischer hochgradiger Aortenklappenstenose oder Patienten mit mittelgradiger Aortenklappenstenose, Herzinsuffizienz und linksventrikulärer Dysfunktion von einer Klappenintervention profitieren könnten [8, 9]. Ein Argument für die frühere Klappenintervention ist, das ungünstige myokardiale Remodeling rechtzeitig aufzuhalten und bereits entstandene Myokardveränderungen rückgängig machen zu können.

#### Was können wir für die Praxis lernen?

Bei Patienten ohne Symptome trotz eindeutig hochgradiger Aortenklappenstenose könnte der Fibrosenachweis in der MRT ein Argument für eine Klappenintervention trotz fehlender Symptome sein, um ein Voranschreiten des Remodeling zu verhindern.

## Kardiale Magnetresonanztomographie und künstliche Intelligenz

Mit dem Fortschritt von Artificial Intelligence (= künstliche Intelligenz) hat sich die automatisierte Analyse von kardialen MRT-Bildern enorm weiterentwickelt [10]. Künstliche Intelligenz wird eingesetzt, um konventionelle ärztliche Auswertungen in der klinischen Routine (z. B. die Bestimmung der LV-EF) automatisiert durchzuführen. Außerdem findet sie in Forschungsansätzen Verwendung, um z. B. Muster im Myokard als Ausdruck bestimmter Pathologien zu erkennen, die dem ärztlichen Auge und konventionellen Analysen bislang entgingen.

### » Künstliche Intelligenz kann ärztliche Auswertungen automatisiert durchführen

Beispielhaft wird hier eine Studie vorgestellt, die die Präzision der linksventrikulären Volumetrie mittels MRT zwischen Arzt und künstlicher Intelligenz verglich [11]. Mit Präzision ist dabei gemeint, inwieweit dasselbe Ergebnis herauskommt, wenn ein Patient 2-mal hintereinander dieselbe MRT-Untersuchung erhält.

Der Datenpool der Studie umfasste 110 Patienten, die innerhalb kurzer Zeit 2 MRT-Untersuchungen hatten. Alle 110 Scan-Rescan-Datensätze wurden von einem MRT-Experten sowie von künstlicher Intelligenz ausgewertet. Für diese Machine-Learning-Analyse wurde ein automatisiertes, neurales Netzwerk verwendet, das vorab mit zahlreichen Bilddatensätzen trainiert worden war. Die Analysen erbrachten für alle linksventrikulären Zielparameter sowie auch für die Präzision eine gute Übereinstimmung zwischen MRT-Experten und automatisierter Analyse. Die automatisierte Analyse dauerte jedoch nur 4,2 s und war damit 186-mal schneller als die Expertenauswertung, die 13 min pro Scan dauerte.

Die hier vorgestellte Studie deutet das Potenzial von vollautomatisierter Bildanalyse für die kardiale MRT an. Wenn auch die menschliche Präzisi-

on nicht durch die vollautomatisierte Analyse übertroffen wurde, so demonstriert die Studie das enorme zeitliche Einsparpotenzial – wenige Sekunden Computeranalyse gegenüber fast einer Viertelstunde Expertenarbeitszeit.

Zu beachten ist, dass in dieser Studie lediglich die Basisparameter (linksventrikuläre Funktion und Größe) analysiert wurden. Komplexere Auswertungen wie T1-Mapping, Perfusionsanalyse oder Fibrosedetektion durch künstliche Intelligenz sind jedoch bereits in Entwicklung.

#### Was können wir für die Praxis lernen?

Bereits heute enthalten moderne Softwareprodukte zahlreiche Algorithmen mit künstlicher Intelligenz, die die Auswertung von kardialen MRT-Untersuchungen enorm beschleunigen. Schon nach wenigen Mausklicks liegen zahlreiche quantitative Ergebnisse vor. Insofern lohnt sich neben einer modernen Scanner- und Sequenzausstattung auch die Investition in eine moderne Post-Processing-Software. Wichtig ist jedoch, die Grenzen der automatischen Methoden zu kennen, die automatisch generierten Analysen konsequent zu prüfen und ggf. manuell zu korrigieren.

## Neue MRT-Positionspapiere

Im Jahr 2020 sind wichtige MRT-Positionspapiere erschienen:

- Das „SCMR Position Paper on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance“ fasst die Indikationen für die kardiale MRT bei verschiedenen Erkrankungen zusammen. Das Positionspapier nennt die wesentlichen Publikationen für die entsprechenden Empfehlungen und stellt daher ein umfassendes und aktuelles Nachschlagewerk dar [12].
- Das Positionspapier der SCMR (Society for Cardiac Magnetic Resonance) mit dem Titel „Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update“ enthält Empfehlungen zur Durchführung einer kardialen MRT-Untersuchung. Es enthält allgemeine Informationen z. B. zur Kontrastmittelgabe sowie konkrete Details zur Einstellung der Bildparameter

Hier steht eine Anzeige.



- und zur Schnittführung bei den verschiedenen MRT-Techniken [13].
- Das Positionspapier der SCMR mit dem Titel „*Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance—2020 update*“ fasst die aktuellen Empfehlungen zur visuellen, semiquantitativen und quantitativen Auswertung der verschiedenen MRT-Techniken zusammen [14].
  - Die Publikation „*Reference ranges (normal values) for cardiovascular magnetic resonance (CMR) in adults and children: 2020 update*“ liefert Normwerte für die Dimensionen von Vorhöfen und Ventrikeln für Erwachsene und Kinder. Darüber hinaus werden Referenzbereiche für Blutflussmessungen, für Aorta und Pulmonalarterie, Pulswellengeschwindigkeit, myokardiale T1-, T2- und T2\*-Zeiten und für das extrazelluläre Volumen angegeben [15].

## MRT in den neuen ESC- und AHA-Leitlinien

Im Jahr 2020 erschienen 4 neue Leitlinien der Europäischen Gesellschaft für Kardiologie (ESC) und 2 neue Leitlinien der American Heart Association (AHA). Auch die kardiale MRT tritt dort in Erscheinung.

- Die ESC-Leitlinie zum Thema *NSTEMI* (Nicht-ST-Hebungsinfarkt) betont die Bedeutung der kardialen MRT zur Einordnung bei einem Myokardinfarkt mit nichtobstruktiven Koronararterien (MINOCA). Die Leitlinie illustriert den empfohlenen diagnostischen Algorithmus und empfiehlt bei der Arbeitsdiagnose MINOCA die kardiale MRT als „one of the key diagnostic tools“, um zwischen einem Myokardinfarkt („echter MINOCA“) und den Differenzialdiagnosen mit ähnlicher klinischer Präsentation (z. B. Myokarditis, Takotsubo-Kardiomyopathie) zu unterscheiden. „*It is recommended to perform CMR in all MINOCA patients without an obvious underlying cause*“ (Class of Recommendation I, Level of Evidence B). Darüber hinaus

Kardiologie 2021 · 15:147–152 <https://doi.org/10.1007/s12181-021-00465-w>  
© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2021

F. von Knobelsdorff

## Entwicklung kardiovaskuläre Medizin 2020: Kardiale Magnetresonanztomographie

### Zusammenfassung

Die kardiale Magnetresonanztomographie (MRT) hat sich als wichtiges nicht-invasives Diagnostikverfahren innerhalb der Kardiologie etabliert und entwickelt sich stetig weiter. Dieser Beitrag stellt beispielhaft drei interessante MRT-Studien der letzten Monate vor, die die Themen „MRT und COVID-19“, „Fibrose bei Aortenklappenstenose“ und „MRT und künstliche Intelligenz“ behandeln. Außerdem werden neue MRT-Positionspapiere zu den Bereichen „MRT-Indikationen“, „MRT-Protokolle“, „MRT-Postprocessing“ und „MRT-Normwerte“

beschrieben. Darüber hinaus wird die Rolle der kardialen MRT in den 2020 erschienenen kardiologischen Leitlinien der European Society of Cardiology und der American Heart Association dargestellt. Schließlich folgt eine aktuelle Bilanz der MRT-Zertifizierung durch die Deutsche Gesellschaft für Kardiologie.

### Schlüsselwörter

Herz-Magnetresonanztomographie · Leitlinien · Nichtinvasives Diagnostikverfahren · Künstliche Intelligenz · COVID-19

## Development of cardiovascular medicine 2020: cardiac magnetic resonance imaging

### Abstract

Cardiac magnetic resonance imaging (MRI) has been established as an important non-invasive diagnostic tool in cardiology and is continuously evolving. This article exemplarily presents three interesting MRI studies published in recent months that cover the topics “MRI and COVID-19”, “fibrosis and aortic valve stenosis” and “MRI and artificial intelligence”. In addition, new MRI position statements regarding “MRI indications”, “MRI protocols”, “MRI postprocessing” and “MRI reference values” are described. Furthermore, the role

of cardiac MRI in the cardiology guidelines of the European Society of Cardiology and the American Heart Association published in 2020 is presented. Finally, an actual overview regarding the certification programme for CMR by the German Society for Cardiology is given.

### Keywords

Cardiac magnetic resonance imaging · Guidelines · Noninvasive diagnostic procedures · Artificial intelligence · COVID-19

- wird der kardialen MRT eine Bedeutung zur Risikostratifizierung der Patienten mit Verdacht auf ein akutes Koronarsyndrom (z. B. zur Differenzierung der Patienten, die zwischen „rule in“ und „rule out“ liegen) sowie zur Beurteilung der hämodynamischen Relevanz von Non-culprit-Koronarstenosen zugeschrieben [16].
- In der ESC-Leitlinie zu *Vorhofflimmern* wird der kardialen MRT v. a. eine Bedeutung zur Analyse des linken Vorhofs zugeschrieben. Die zentrale Abbildung zur Bildgebungsdiagnostik bei Vorhofflimmern legt nahe, dass die kardiale MRT grundsätzlich Aussagen zu Anatomie, Struktur, Funktion und Throm-

- buslast liefern kann. Der Untertitel schränkt ein, dass die Beurteilung von linksatrialer Fibrose mittels Late-Gadolinium-MRT zwar beschrieben wurde, jedoch selten in der Praxis zur Anwendung kommt und ausgewählten Patienten vorbehalten bleibt [17].
- Die ESC-Leitlinie zum Thema *Sportkardiologie* betont die Bedeutung der kardiovaskulären MRT zur Risikoeinschätzung v. a. bei Kardiomyopathien sowie bei Patienten mit Myokarditis, (Verdacht auf) koronare Herzkrankheit, ventrikulären Herzrhythmusstörungen und mit Aortenerkrankungen [18].

- Die ESC-Leitlinie zum Thema *Erwachsene mit angeborenen Herzfehlern* („adults with congenital heart disease“ [ACHD]) unterstreicht die Bedeutung der multimodalen Bildgebung einschließlich kardialer MRT. Die MRT-Indikationen umfassen u. a. die Vermessung der Herzhöhlen, die Quantifizierung von Blutflussvolumina und Herzklappeninsuffizienzen, die Beurteilung der herznahen Gefäße, die Analyse von Myokardischämie und die Gewebedifferenzierung (Fibrose). Explizit wird z. B. bei der Behandlung von ACHD-Patienten mit Arrhythmien der MRT-Nachweis von Vernarbung des rechten Ventrikels zur Entscheidung für eine ICD-Implantation genannt [19].
- Die AHA-Leitlinie zu *Herzklappen-erkrankungen* wertet die kardiale MRT als wichtiges Instrument zur erweiterten Diagnostik, v. a. bei uneindeutigen oder diskrepanten Befunden der Echokardiographie. Die kardiale MRT kann die Klappen-erkrankung selbst sowie die Effekte auf die Ventrikel beurteilen. Konkret enthält die Leitlinie mehrere Klasse-1-Empfehlungen für eine kardiale MRT: bei Aortenklappeninsuffizienz, bikuspidaler Aortenklappe und primärer Mitralklappeninsuffizienz, wenn die Echokardiographie uneindeutig ist, sowie bei sekundärer Mitralklappeninsuffizienz, um die Ätiologie und die Myokardvitalität zu klären [20].
- Die AHA-Leitlinie zu *hypertropher Kardiomyopathie* (HCM) enthält MRT-Empfehlungen zur Primärdiagnostik, Verlaufskontrolle und Risikostratifizierung. Konkret wird die kardiale MRT mit Klasse 1 bei Verdacht auf HCM und nicht eindeutiger Echokardiographie, bei Verdacht auf alternative Diagnosen als Ursache der Hypertrophie (z. B. Speichererkrankung), zur Ergänzung der Risikostratifizierung und ICD-Entscheidung (z. B. maximale Wanddicke, apikales Aneurysma, Fibrose) sowie zur Einschätzung einer Ausflusstraktobstruktion und Planung einer Septumreduktionstherapie

empfohlen. Mit Klasse 2b wird die Verlaufsbeurteilung bei nachgewiesener HCM mittels kardialer MRT alle 3 bis 5 Jahre zur Risikoeinschätzung und Beurteilung struktureller Veränderungen (z. B. Fibroseausdehnung, apikales Aneurysma) empfohlen. Hinsichtlich der Risikostratifizierung für den plötzlichen Herztod bei HCM wird die kardiale MRT mit Klasse 1 empfohlen, wenn die Standardrisikostratifizierung uneindeutig bleibt. Die entscheidenden MRT-Informationen sind die maximale linksventrikuläre Wanddicke, die LV-EE, das Vorhandensein eines apikalen Aneurysmas sowie der Nachweis von ausgedehnter Fibrose (ca. > 15 % des linksventrikulären Myokards) mittels Late-Gadolinium-Enhancement (LGE). LGE wird als „arbitrator“ (= Schiedsrichter) für die Entscheidung für einen ICD bezeichnet, wenn die Standardrisikostratifizierung uneindeutig bleibt. Bei Vorhandensein von ausgedehntem LGE kann eine ICD-Implantation erwogen werden (Klasse 2b) [21].

### DGK-Zusatzqualifikation kardiale Magnetresonanztomographie

Im Jahr 2020 gibt es in Deutschland 51 Einrichtungen, die von der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) als Herz-MRT-Stätte zertifiziert wurden; 281 Kardiologen haben die Zusatzqualifikation kardiale MRT der DGK (17 Level I, 61 Level II, 203 Level III). Im Jahr 2020 wurden 2 Stätten und 15 Kardiologen (5 Level I, 3 Level II, 7 Level III) neu zertifiziert. Die für die Zertifizierung erforderliche MRT-Prüfung fand 2020 Corona-bedingt nicht statt und wird 2021 digital stattfinden [22].

### Fazit für die Praxis

- Die kardiale Magnetresonanztomographie (MRT) ist als wichtiges Diagnostikverfahren fest in den Empfehlungen der kardiologischen Leitlinien der ESC und AHA verankert.

- In Deutschland gibt es über 50 Stätten und fast 300 Kardiologen, die von der DGK für die kardiale MRT zertifiziert sind.
- Das Thema COVID-19 und Herz hat die kardiale MRT in die Öffentlichkeit gerückt.
- Bei Verdacht auf eine Myokarditis, einschließlich im Zusammenhang mit COVID-19, wird eine kardiale MRT empfohlen. Diese sollte idealerweise mit myokardialer Mapping-Technik erfolgen.
- Fokale und diffuse Fibrose entwickeln sich weiter zu wichtigen MRT-Biomarkern zur Prognoseabschätzung. Bei der Aortenklappenstenose ist der Fibrosenachweis ein ungünstiger Indikator und könnte unter Umständen das Patientenmanagement beeinflussen.
- Die Integration von künstlicher Intelligenz in die MRT-Auswertesoftware automatisiert und beschleunigt die Auswertung von MRT-Bildern enorm und hat das Potenzial, zusätzliche diagnostische Informationen zu liefern.

### Korrespondenzadresse

**Prof. Dr. Florian von Knobelsdorff**  
KIZ – Kardiologie im Zentrum  
Eisenmannstr. 4, 80331 München, Deutschland  
von-knobelsdorff@kiz-muenchen.de

### Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** F. von Knobelsdorff gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden vom Autor keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

### Literatur

1. Puntmann VO, Carerj ML, Wieters I, Fahim M, Arendt C, Hoffmann J, Shchendrygina A, Escher F, Vasa-Nicotera M, Zeiher AM, Vahreschild M, Nagel E (2020) Outcomes of cardiovascular magnetic resonance imaging in patients recently recovered from Coronavirus disease 2019 (COVID-19). *JAMA*

- Cardiol. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.3557>
2. von Knobelsdorff F (2021) Untersuchung von kardialen Veränderungen nach COVID-19 mit MRT. *Kardiologie*. <https://doi.org/10.1007/s12181-021-00445-0>
  3. Huang L, Zhao P, Tang D, Zhu T, Han R, Zhan C, Liu W, Zeng H, Tao Q, Xia L (2020) Cardiac involvement in patients recovered from COVID-19 identified using magnetic resonance imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 13:2330–2339
  4. Rajpal S, Tong MS, Borchers J, Zareba KM, Obarski TP, Simonetti OP, Daniels CJ (2021) Cardiovascular magnetic resonance findings in competitive athletes recovering from COVID-19 infection. *JAMA Cardiol* 6:116–118
  5. Ponikowski P, Voors AA, Anker SD, Bueno H, Cleland JGF, Coats AJS, Falk V, Gonzalez-Juanatey JR, Harjola VP, Jankowska EA, Jessup M, Linde C, Nihoyannopoulos P, Parissis JT, Pieske B, Riley JP, Rosano GMC, Ruilope LM, Ruschitzka F, Rutten FH, van der Meer P, ESC Scientific Document Group (2016) 2016 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure: the task force for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure of the European society of cardiology (ESC) developed with the special contribution of the heart failure association (HFA) of the ESC. *Eur Heart J* 37:2129–2200
  6. Bing R, Cavalcante JL, Everett RJ, Clavel MA, Newby DE, Dweck MR (2019) Imaging and impact of myocardial fibrosis in aortic stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging* 12:283–296
  7. Everett RJ, Treibel TA, Fukui M, Lee H, Rigolli M, Singh A, Bijsterveld P, Tastet L, Musa TA, Dobson L, Chin C, Captur G, Om SY, Wiesemann S, Ferreira VM, Piechnik SK, Schulz-Menger J, Schelbert EB, Clavel MA, Newby DE, Myerson SG, Pibarot P, Lee S, Cavalcante JL, Lee SP, McCann GP, Greenwood JP, Moon JC, Dweck MR (2020) Extracellular myocardial volume in patients with aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol* 75:304–316
  8. Kang DH, Park SJ, Lee SA, Lee S, Kim DH, Kim HK, Yun SC, Hong GR, Song JM, Chung CH, Song JK, Lee JW, Park SW (2020) Early surgery or conservative care for asymptomatic aortic stenosis. *N Engl J Med* 382:111–119
  9. Pibarot P, Messika-Zeitoun D, Ben-Yehuda O, Hahn RT, Burwash IG, Van Mieghem NM, Spitzer E, Leon MB, Bax J, Otto CM (2019) Moderate aortic stenosis and heart failure with reduced ejection fraction: can imaging guide us to therapy? *JACC Cardiovasc Imaging* 12:172–184
  10. Leiner T, Rueckert D, Suinesiaputra A, Baessler B, Nezafat R, Isgum I, Young AA (2019) Machine learning in cardiovascular magnetic resonance: basic concepts and applications. *J Cardiovasc Magn Reson* 21:61
  11. Bhuvan AN, Bai W, Lau C, Davies RH, Ye Y, Bulluck H, McAlindon E, Culotta V, Swoboda PP, Captur G, Treibel TA, Augusto JB, Knott KD, Seraphim A, Cole GD, Petersen SE, Edwards NC, Greenwood JP, Bucciarelli-Ducci C, Hughes AD, Rueckert D, Moon JC, Manisty CH (2019) A multicenter, scan-rescan, human and machine learning CMR study to test generalizability and precision in imaging biomarker analysis. *Circ Cardiovasc Imaging* 12:e9214
  12. Leiner T, Bogaert J, Friedrich MG, Mohiaddin R, Muthurangu V, Myerson S, Powell AJ, Raman SV, Pennell DJ (2020) SCMR position paper (2020) on clinical indications for cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson* 22:76
  13. 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* 22:17
  14. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, Flamm SD, Fogel MA, Friedrich MG, Kim RJ, von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Kramer CM, Pennell DJ, Plein S, Nagel E (2020) Standardized image interpretation and post-processing in cardiovascular magnetic resonance—2020 update: society for cardiovascular magnetic resonance (SCMR): board of trustees task force on standardized post-processing. *J Cardiovasc Magn Reson* 22:19
  15. Kawel-Boehm N, Hetzel SJ, Ambale-Venkatesh B, Captur G, Francois CJ, Jerosch-Herold M, Salerno M, Teague SD, Valsangiacomo-Buechel E, van der Geest RJ, Bluemke DA (2020) Reference ranges (“normal values”) for cardiovascular magnetic resonance (CMR) in adults and children: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson* 22:87
  16. Collet JP, Thiele H, Barbato E, Barthelémy O, Bauersachs J, Bhatt DL, Dendale P, Dorobantu M, Edvardsen T, Folliguet T, Gale CP, Gilard M, Jobs A, Juni P, Lambrinou E, Lewis BS, Mehilli J, Meliga E, Merkely B, Mueller C, Roffi M, Rutten FH, Sibbing D, Siontis GCM, ESC Scientific Document Group (2020) 2020 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J*. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa575>
  17. Hindricks G, Potpara T, Dagres N, Arbelo E, Bax JJ, Blomstrom-Lundqvist C, Boriani G, Castella M, Dan GA, Dilaveris PE, Fauchier L, Filippatos G, Kalman JM, La Meir M, Lane DA, Lebeau JP, Lettino M, Lip GYH, Pinto FJ, Thomas GN, Valgimigli M, Van Gelder IC, Van Putte BP, Watkins CL, ESC Scientific Document Group (2021) 2020 ESC guidelines for the diagnosis and management of atrial fibrillation developed in collaboration with the European association of cardio-thoracic surgery (EACTS). *Eur Heart J* 42(5):373–498. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa612>
  18. Pelliccia A, Sharma S, Gati S, Back M, Borjesson M, Caselli S, Collet JP, Corrado D, Drezner JA, Halle M, Hansen D, Heidbuchel H, Myers J, Niebauer J, Papadakis M, Piepoli MF, Prescott E, Roos-Hesselink JW, Graham Stuart A, Taylor RS, Thompson PD, Tiberi M, Vanhees L, Wilhelm M, ESC Scientific Document Group (2021) 2020 ESC guidelines on sports cardiology and exercise in patients with cardiovascular disease. *Eur Heart J* 42:17–96
  19. Baumgartner H, De Backer J, Babu-Narayan SV, Budts W, Chessa M, Diller GP, Lung B, Kluijn J, Lang IM, Meijboom F, Moons P, Mulder BJM, Oechslin E, Roos-Hesselink JW, Schwertmann M, Sondergaard L, Zeppenfeld K, ESC Scientific Document Group (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>
  20. Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP 3rd, Gentile F, Jneid H, Krieger EV, Mack M, McLeod C, O’Gara PT, Rigolin VH, Sundt TM 3rd, Thompson A, Toly C (2020) 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. *Circulation*. <https://doi.org/10.1161/cir.0000000000000923>
  21. Ommen SR, Mital S, Burke MA, Day SM, Deswal A, Elliott P, Evanovich LL, Hung J, Joglar JA, Kantor P, Kimmelstiel C, Kittleson M, Link MS, Maron MS, Martinez MW, Miyake CY, Schaff HV, Semsarian C, Sorajja P (2020) 2020 AHA/ACC guideline for the diagnosis and treatment of patients with hypertrophic cardiomyopathy: a report of the American college of cardiology/American heart association joint committee on clinical practice guidelines. *J Am Coll Cardiol* 76:e159–e240
  22. von Knobelsdorff F, Müllerleile K, Friedrich MG, Rolf A, Schulz-Menger J, Katus H, Eitel I (2018) Weiterbildung und Zertifizierung in kardiovaskulärer Magnetresonanztomographie in Deutschland—Update 2018. *Kardiologie* 12:209–2014