

Kardiologie
<https://doi.org/10.1007/s12181-023-00599-z>
Angenommen: 16. Januar 2023

© Deutsche Gesellschaft für Kardiologie - Herz- und Kreislaufforschung e.V. Published by Springer Medizin Verlag GmbH, ein Teil von Springer Nature - all rights reserved 2023



Qualitätskriterien für die Erbringung kardialer CT-Leistungen

Positionspapier der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie

Andreas Rolf¹ · Axel Schmermund² · Michaela M. Hell³ · Ramona Schmitt⁴ · Peter Bernhardt⁵ · Sebastian Kelle⁶ · Christian Perings⁷ · Stephan Achenbach⁸ · Holger Thiele⁹

¹ Abteilung Kardiologie, Kerckhoff-Klinik, Bad Nauheim, Deutschland; ² Cardioangiologisches Centrum Bethanien, CCB, Frankfurt, Deutschland; ³ Zentrum für Kardiologie – Kardiologie 1, Universitätsmedizin Mainz, Mainz, Deutschland; ⁴ Department Universitäts-Herzzentrum Freiburg – Bad Krozingen, Universitätsklinikum Freiburg, Freiburg, Deutschland; ⁵ Herzklinik Ulm, Ulm, Deutschland; ⁶ Klinik für Kardiologie, Angiologie und Intensivmedizin, Deutsches Herzzentrum der Charité, Berlin, Deutschland; ⁷ Abteilung Kardiologie, Elektrophysiologie, Pneumologie, St. Marien Hospital, Lünen, Deutschland; ⁸ Medizinische Klinik 2, Universitätsklinikum Erlangen, Erlangen, Deutschland; ⁹ Herzzentrum Leipzig, Universitätsklinik für Kardiologie, Leipzig, Deutschland

Zusammenfassung

Die kardiale CT bietet großes Potenzial zur Optimierung der Patientenversorgung insbesondere bei Patienten und Patientinnen mit chronischem Koronarsyndrom und zur Planung von kathetergestützter Therapie bei struktureller Herzerkrankung. Ein Blick in das Vereinigte Königreich (UK), wo die CT-basierte Koronardiagnostik mittlerweile Standard und das diagnostische Verfahren der ersten Wahl geworden ist, zeigt, dass die Indikation zur invasiven Koronardiagnostik mit hoher Patientensicherheit, kosteneffizient und ressourcenschonend eingesetzt werden kann. Dieses Ziel zu erreichen, erfordert klare Qualitätskriterien zur Indikationsstellung, Durchführung, Befundung und Therapieempfehlung. Ein kooperatives Heart-Team-Modell mit gemeinsamer Erbringung der Leistung durch Radiologen und Kardiologen ist am besten geeignet, diese Qualitätsziele zu erreichen und eine nicht evidenzbasierte, Zusatzleistungen provozierende und damit das Gesundheitssystem zusätzlich signifikant belastende Leistungsausweitung zu vermeiden.

Schlüsselwörter

Chronisches Koronarsyndrom · Qualifizierung · Gesundheitsökonomie · Kosteneffizienz · Kardiologie

Der Verlag veröffentlicht die Beiträge in der von den Autor*innen gewählten Genderform. Die Verwendung einer angemessenen gendergerechten Sprache, um Menschen in ihrer Vielfalt wertschätzend anzusprechen, wird begrüßt.



QR-Code scannen & Beitrag online lesen

Präambel

Kardiovaskuläre Erkrankungen stellen in Deutschland unverändert die häufigste Todesursache dar. Daher sind weitere Anstrengungen aller in der Primär- und Sekundärprävention Beteiligten notwendig, um die Sterblichkeit weiter zu senken. Unter Federführung der Deutschen Gesellschaft für Kardiologie (DGK) mit Schirmherrschaft des Bundesministeriums für Gesundheit wurde daher die Nationale Herz-

Kreislauf-Strategie in Deutschland begründet und wird derzeit weiter ausgebaut.

In diesem Zusammenhang ist die nichtinvasive Diagnostik in der Früherkennung, der Diagnostik und der Behandlung von Herzerkrankungen ein wichtiger Baustein. Neben der Echokardiographie, der kardialen Magnetresonanztomographie (MRT), der Myokardszintigraphie und auch der invasiven Diagnostik ist die kardiale Computertomographie (CT) ein bildgebendes Verfahren mit definierten

Indikationen für die Diagnostik und Therapievorbereitung von Herzerkrankungen.

Obwohl sich die Möglichkeiten zur kardialen Bildgebung mittels CT erst in letzter Zeit entwickelt haben, ist sie für einige Anwendungsfälle bereits mit guter Evidenz belegt und in Leitlinien verankert sowie im Zusammenhang mit einigen Interventionen bei strukturellen Herzerkrankungen unverzichtbar [13, 21, 22].

Korrekt eingesetzt und kompetent interpretiert bieten die kardiale CT und vor allem die CT-Angiographie der Koronararterien (CCTA) ein ganz erhebliches Potenzial zur rationalen Diagnostik bei häufigen kardiovaskulären Beschwerdebildern. Dem trägt auch die nationale Versorgungsleitlinie (NVL) koronare Herzerkrankung (KHK) Rechnung. Diese empfiehlt, die CCTA bei Patienten mit stabiler symptomatischer KHK und mittlerer Prätestwahrscheinlichkeit als Gatekeeper zur invasiven Diagnostik und Therapie einzusetzen [2]. Im europäischen EURECA-Register konnte gerade gezeigt werden, dass ein Leitlinien-adhärenter Einsatz der CCTA (und anderer nichtinvasiver Verfahren) die Rate an rein diagnostischen invasiven Koronarangiographien signifikant senken konnte [16]. Allerdings zeigte das Register auch, dass der Leitlinien-gerechte Einsatz oft nicht eingehalten wird und bei nicht Leitlinien-gerechter Therapie viele unnötige Folgeuntersuchungen nachfolgen.

Allerdings bleiben die kardiale CT inklusive der CCTA der Koronararterien weiterhin hinsichtlich Indikation und Befundinterpretation Untersuchungstechniken mit sich entwickelnder klinischer Evidenz.

Einerseits sollte deshalb Patienten mit Verdacht auf kardiale Erkrankungen der mit Expertise erbrachte Einsatz der kardialen CT nicht vorenthalten werden, wenn ein klinischer Nutzen zu erwarten ist, andererseits erfordert der sinnvolle Einsatz aber eine präzise Indikationsstellung unter Berücksichtigung aller klinischen und apparativen Vorbefunde und auf jeden Fall besondere Kompetenz und Erfahrung im Überlappungsgebiet Kardiologie und Radiologie sowie eine äußerst eingehende Beschäftigung mit der Methode.

Initial war es geplant, ein Konsensuspapier zusammen mit der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) zu erstellen,

um Qualitätskriterien und insbesondere interdisziplinäre Kooperationsmodelle bei sowohl Indikationsstellung, Durchführung, Befundung als auch bei der Befundinterpretation der kardialen CT zu definieren. Ziel der Autorengruppe von Vertretern der DGK und DRG war es, in einem Heart-Team-Modell – analog zum G-BA(Gemeinsamer Bundesausschuss)-Beschluss bei Transkatheter-Aortenklappenimplantation (TAVI) – einen gemeinsamen Leitfaden für bestmögliche Qualität bei gleichzeitiger Verhinderung einer Kostenzunahme durch redundante Diagnostik zu erstellen. Durch unterschiedliche Auffassungen zur Integration der beiden Fachdisziplinen in die Indikationsstellung und Befundung sowie hinsichtlich der Bedeutung eines kooperativen Modells zur Verhinderung einer qualitätsgefährdenden Ausweitung der Methode konnte bisher noch kein Konsens erzielt werden.

Aus diesem Grund beschreibt dieses Positionspapier der DGK Indikationen und Qualitätskriterien für die Durchführung, Befundung und Interpretation der kardialen CT aus Sicht der kardiologischen Fachgesellschaft. Das Papier ist als Leitfaden für die derzeitige Anwendung zu sehen; der sicher zu erwartenden technischen Fortentwicklung und Erweiterung der Evidenzlage muss mit zukünftigen Aktualisierungen Rechnung getragen werden.

Ziel ist hier die Darstellung der bestmöglichen Qualität in einem Heart-Team-Modell bei rationaler Diagnostik nicht nur im Hinblick auf die CT, sondern auch auf komplementäre oder alternative bildgebende Verfahren einschließlich der invasiven Diagnostik, immer auch unter dem Aspekt der Kostenkontrolle und Patientensicherheit.

Einleitung

Die CT des Herzens weist aufgrund der Kombination von hoher Ortsauflösung mit volumetrischer Abdeckung des Herzens für einige Indikationen erhebliche diagnostische Vorteile gegenüber anderen bildgebenden Verfahren auf. Sie ist deshalb für definierte klinische Fragestellungen in den Leitlinien internationaler Fachgesellschaften als diagnostisches Mittel der Wahl benannt [13, 21, 22]. Dies betrifft vorrangig, aber nicht ausschließlich, die Dar-

stellung der Koronararterien nach intravenöser Kontrastmittelgabe, die sogenannte CCTA, als auch die Darstellung der kardialen Anatomie sowie der großen Gefäße bei interventionellen Eingriffen bei struktureller Herzerkrankung. Die CCTA ist auch in der NVL Chronische KHK verankert [2]. Daher gilt es, Strukturen und Voraussetzungen zu schaffen, um den rationalen Einsatz des Verfahrens im Bereich der Regelversorgung zu ermöglichen.

Die kardiale CT-Diagnostik ist aufgrund der schnellen Bewegung des Herzens und wegen der kleinen abzubildenden Strukturen mit komplexer Geometrie nur bei Einhaltung einer Reihe apparativer Mindestanforderungen zuverlässig und sinnvoll möglich. Die Darstellung des Herzens und herznaher Strukturen mittels CT bleibt aber auch unter Verwendung der modernsten Gerätegenerationen technisch anspruchsvoll. Die Vermeidung einer unnötig hohen Strahlenexposition erfordert das Anwenden gezielter Strategien zur Reduktion der Dosis, ohne die Bildqualität zu beeinträchtigen. Datenakquisition und Bildrekonstruktion sowie die Auswertung und Interpretation kardialer CT-Untersuchungen erfordern spezielle Kenntnisse und Erfahrungen sowohl hinsichtlich der bildgebenden Technik als auch der kardialen Physiologie und Anatomie [6].

Untersuchungsprotokolle und Rekonstruktionsverfahren müssen der individuellen Situation der Patientin bzw. des Patienten (z.B. Herzfrequenz und -rhythmus) in jedem Einzelfall exakt angepasst werden, um ausreichende Bildqualität bei gleichzeitig vertretbarer Strahlenexposition zu gewährleisten.

Zudem ist eine medikamentöse Vorbehandlung der Patientinnen und Patienten insbesondere für die CCTA in aller Regel unerlässlich, sie dient sowohl der Optimierung der Bildqualität als auch der Reduktion der Strahlenexposition. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit zur Überwachung der Patienten während und nach der Untersuchung.

Durch die schnelle und nicht immer regelmäßige Bewegung der kardialen Strukturen ist die Durchführung von CT-Untersuchungen des Herzens schwieriger, und die erhaltenen Datensätze sind einem größeren Risiko des Auftretens

von befundungsrelevanten Artefakten ausgesetzt als dies bei anderen bildgebenden Untersuchungsmethoden der Fall ist. Deshalb können auch bei Verwendung modernster Technik und Einhaltung aller Standards für die Vorbereitung und Durchführung der Untersuchung sowie der Bildrekonstruktion Artefakte auftreten, welche die Bildinterpretation erschweren und zur Fehlbefundung führen könnten.

Die zwei wichtigsten Anwendungsgebiete der kardialen CT sind zum einen die CCTA zur Detektion bzw. zum Ausschluss von Koronararterienstenosen, Plaques bzw. Verkalkungen, zum anderen die exakte anatomische Bildgebung des Herzens zur Indikationsstellung und detaillierten Planung struktureller kardialer Interventionen (z.B. der TAVI und anderer Interventionen an den Herzklappen). In beiden Fällen sind detaillierte Kenntnisse der Krankheitsbilder, der klinischen und prognostischen Bedeutung erhobener Befunde, der Indikation und Aussagekraft anderer bildgebender Untersuchungsverfahren (z.B. Echokardiographie, transösophageale Echokardiographie, myokardiale Perfusionsuntersuchungen, intrakoronare Diagnostik) und des gesamten Spektrums der therapeutischen Möglichkeiten erforderlich, um die kardialen CT-Datensätze korrekt zu interpretieren, Artefakte zu identifizieren, die nicht immer eindeutigen CT-Befunde im Vergleich zu anderen Befunden korrekt zu gewichten und, wo erforderlich, die korrekten Schritte zur weiteren Diagnostik zu empfehlen oder einzuleiten.

Insgesamt bietet die CT-Diagnostik des Herzens also hervorragende Möglichkeiten zur individualisierten, rationellen Diagnostik und Therapie von Patienten mit Verdacht auf das Vorliegen kardialer Erkrankungen, mit bekannten Erkrankungen des Herzens oder zur individualisierten Therapieplanung. Andererseits ist sie aber auch besonders anspruchsvoll und erfordert eine breite technische wie tiefe klinische kardiovaskuläre Kenntnis sowie ausreichende Expertise und Erfahrung sowohl aus dem Gebiet der Radiologie als auch aus dem Gebiet der Kardiologie.

Diesem Anspruch wird man am besten gerecht, wenn Indikationsstellung, Durchführung und Befundung kardialer CT-Untersuchungen in einem kooperativen Mo-

dell erbracht werden, ähnlich wie „Heart Teams“ der verschiedenen Fachdisziplinen bereits im Bereich der strukturellen Herzerkrankungen gelebt werden und gefordert sind.

Fachärztinnen und Fachärzte für Kardiologie verfügen aufgrund ihrer eingehenden Kenntnisse in der Schnittbilddiagnostik des Herzens (z.B. Echokardiographie, kardiale MRT) und der invasiven Katheterdiagnostik mit allen Therapieoptionen und Erfahrungen im Umgang mit ionisierenden Strahlen über bessere Voraussetzungen zur Durchführung und Interpretation von CT-Untersuchungen als dies in vielen anderen nichtradiologischen Fachgebieten der Fall ist.

Bei Fachärztinnen und Fachärzten für Radiologie kann im Rahmen ihrer Ausbildung im Querschnittsfach Radiologie die Fachkunde CT die kardiale Diagnostik mitbeinhalten, ohne dass jemals ein kardiales CT durchgeführt oder interpretiert wurde.

Aufgrund rechtlicher Voraussetzungen hinsichtlich des Strahlenschutzes in der CT stellen die gemeinsame Indikationsstellung, Durchführung und Interpretation von CT-Untersuchungen des Herzens durch Fachärztinnen und Fachärzten für Radiologie und Kardiologie ein attraktives Modell zur Gewährleistung bestmöglicher Qualität und zur zielgerichteten Diagnostik mit Vermeidung von multiplen und ggf. unnötigen bzw. nicht aussagefähigen Untersuchungen bei KHK dar.

Im vorliegenden Positionspapier werden evidenzbasierte Indikationen für die CT des Herzens, Mindestanforderungen bezüglich technischer Voraussetzungen, Mindestanforderungen an die Untersuchungsprotokolle, Mindestanforderungen an die Erfahrung von Leistungserbringern und mögliche Kooperationsmodelle im Sinne eines Heart Teams im ambulanten als auch stationären Bereich geschildert. Die beschriebenen Anforderungen stellen mögliche Qualitätskriterien dar.

Leitlinien

Die Evidenzlage zur kardialen CT-Diagnostik entwickelt sich zügig weiter. Für zahlreiche Anwendungsgebiete und klinische Konstellationen sind CT-Untersuchungen des Herzens in diversen nationalen und internationalen Leitlinien verankert.

Dies betrifft unter anderem die Diagnostik bei stabiler KHK (Nationale Versorgungsleitlinie chronische KHK 2022, ESC Guidelines Chronic Coronary Syndromes 2019), bei akutem Koronarsyndrom (ESC Guidelines Acute Coronary Syndromes without ST-Elevation 2020), zur Prävention von KHK (ESC Guidelines Cardiovascular Disease Prevention 2021, ESC Guidelines Dyslipidemias 2019), Herzinsuffizienz (ESC Guidelines Heart Failure 2021) und Endokarditis (ESC Guidelines Infective Endocarditis 2015; [2, 8, 11, 13, 15, 17, 18, 21, 22]).

Aufgrund der sich stetig weiterentwickelnden Evidenzlage ist die Leitliniensituation dynamisch, und die durch klinische Evidenz belegten Anwendungsgebiete nehmen zu. Für das wichtigste Anwendungsgebiet, die CCTA, erwähnen die Leitlinien konkret, dass ausreichende Gerätetechnologie, Expertise und Patientencharakteristika, die eine ausreichend gute Bildqualität erwarten lassen, Voraussetzungen für die klinische Anwendung des CT sind.

Indikationen zu CT-Untersuchungen des Herzens und Mindestanforderungen an Befunde

CT-Koronarkalknachweis

Der Nachweis von Koronarkalk hat eine prognostische Bedeutung für das Auftreten eines schwerwiegenden unerwünschten kardialen Ereignisses. Die computertomographische Erhebung des Koronarkalk-Scores kann daher bei der Bewertung des kardiovaskulären Risikos asymptomatischer Personen als Risikomodifikator in der Primärprävention erwogen werden.

Für den Nachweis und die Quantifizierung wird eine nichtkontrastmittelverstärkte standardisierte CT durchgeführt.

Der Befund sollte mindestens folgende Aspekte berücksichtigen:

1. deskriptive Beschreibung von Menge und Lokalisation koronarer Verkalkungen,
2. Agatston-Score und
3. Referenzperzentile.

Literatur: Nationale Versorgungsleitlinie KHK (2019; [2]), ESC-Leitlinie chronisches Koronarsyndrom (2019) und ESC-Leitlinie

Prävention kardiovaskulärer Erkrankungen (2021; [13, 22]).

Computertomographie-Koronarangiographie (CCTA)

Eine CCTA kann bei symptomatischen Patienten mit Verdacht auf eine KHK durchgeführt werden. Zu unterscheiden ist dabei der diagnostische Algorithmus bei stabiler Symptomatik und bei Verdacht auf ein akutes Koronarsyndrom. Bei asymptomatischen Patienten oder bei bekannter KHK ist die CCTA nicht als Routinetest in der Primärdiagnostik oder in der Nachbeobachtung empfohlen.

Bei *Patienten mit stabiler Angina* wird ein schrittweiser Ansatz zur diagnostischen Einschätzung empfohlen. Basierend auf Symptomatik und Komorbiditäten des Patienten sowie einer kardiologischen Basisuntersuchung incl. Echokardiographie wird die Vortestwahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer KHK beurteilt, anhand derer sich die Auswahl der weiteren Diagnostik orientiert. Die Empfehlung zur CCTA ist gegeben bei mittlerer klinischer Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer KHK, wenn die Patientencharakteristika eine gute Bildqualität erwarten lassen und eine hohe lokale Expertise vorliegt. Ausdrücklich wird die CCTA nicht empfohlen bei Patienten mit ausgedehnter Koronarverkalkung, unregelmäßigem Puls, starkem Übergewicht, fehlenden Symptomen oder der Unfähigkeit, Atemkommandos zu verfolgen. Als Zweitliniendiagnostik sollte die CCTA als Alternative zur invasiven Diagnostik erwogen werden, wenn die primär durchgeführte nichtinvasive Diagnostik einen nicht diagnoseweisenden Befund ergibt. Bei Nachweis einer koronaren Dreifäßerkrankung mit proximalen Stenosen, Hauptstammstenose oder proximaler LAD-Stenose oder bei Symptompersistenz trotz optimaler Medikation ist eine nachfolgende invasive Untersuchung indiziert. Ist die CCTA von ungewisser funktioneller und prognostischer Bedeutung oder nicht diagnoseweisend, so wird ergänzend eine funktionelle Bildgebung empfohlen.

Bei hohem Kalkscore sollte die Entscheidung über die Durchführung der kontrastverstärkten CT-Angiographie individuell erfolgen und die Verteilung der Kalkplaques berücksichtigen, bei einem

Agatston-Score >400 nur nach gründlicher Abwägung der zu erwartenden Bildqualität, bei Agatston-Score >1000 nur im begründeten Einzelfall.

Folgende Aspekte sollte der Befund mindestens berücksichtigen:

1. Beschreibung von Vorliegen und Ausmaß der koronaren Atherosklerose,
2. Plaquemorphologie,
3. Vorliegen und Schweregrad von Lumenstenosen/-verschlüssen einschließlich deren Relevanz hinsichtlich der individuellen anatomischen Situation und des klinischen Kontexts und
4. Konsequenzen für weitere Diagnostik/Therapie.

Literatur: NVL KHK, ESC-Leitlinie chronisches Koronarsyndrom.

Die Erstbeurteilung bei *akutem Koronarsyndrom* erfolgt anhand der klinischen Präsentation, dem EKG-Befund sowie der Diagnostik mittels hoch-sensitivem Troponin nach dem ESC 0/1 h oder 0/2 h Algorithmus. Bei sich hieraus ergebender geringer bis mittlerer Vortestwahrscheinlichkeit für ein ACS und wenn kardiales Troponin und/oder EKG normal oder nicht eindeutig sind, kann die CCTA als Alternative zur invasiven Angiographie erwogen werden. Eine normale CCTA zeigt bei diesen Patienten einen hohen negativ prädiktiven Wert zum Ausschluss eines akuten Koronarsyndroms an.

Folgende Aspekte sollte der Befund mindestens berücksichtigen:

1. Beschreibung von Vorliegen und Ausmaß der koronaren Atherosklerose sowie
2. Vorliegen und Schweregrad von Lumenstenosen/-verschlüssen einschließlich deren Relevanz im klinischen Kontext.

Literatur: ESC-Leitlinie akutes Koronarsyndrom ohne persistierende ST-Hebungen (2021; [5]).

Diagnostik vor strukturellen kardialen Interventionen

Bei Herzklappenerkrankungen ist ein multimodaler Bildgebungsansatz zur Diagnosestellung, präzisen Prozedurplanung

und auch postinterventionellen Beurteilung unerlässlich. Die kardiale CT zeigt ihre Vorteile vor allem in der exzellenten räumlichen, isotropen Auflösung, der guten Standardisierung und der Darstellung von Kalzifizierungen. Bei diskordanten Befunden in der Echokardiographie zum Beispiel bei einer low-flow/low-Gradient Aortenklappenstenose kann alternativ zur low-dose Dobutamin-Stressechokardiographie die CT-basierte Bestimmung der Aortenklappenkalzifizierung eingesetzt werden.

Die Planung einer TAVI mittels CT inkludiert dabei nicht nur die morphologische Beurteilung und akkurate Größenbestimmung der Zielstruktur zur Device-Typ- und Größenauswahl, sondern auch eine Risikoabschätzung für z.B. eine Koronarokklusion, eine Annulusruptur oder einen AV-Block III°, die Evaluation des arteriellen Zugangsweges und die Vorhersage der optimalen fluoroskopischen Projektionsebene. Zudem ermöglicht sie eine ergänzende Koronardiagnostik.

Die CT-basierte Prozedurplanung bei interventionellem Mitral- oder Trikuspidalklappenersatz umfasst neben der Größenbestimmung des Annulus auch die anatomische und geometrische Beurteilung der Device-Landzone, das Verhältnis zu wichtigen benachbarten Strukturen und die Beurteilung der Klappenkalzifizierung neben Aspekten der Vermeidung einer linksventrikulären Ausflusstraktobstruktion (LVOT) oder der linkeventrikulären Punktionsstelle bei transapikalem Zugang. Ergänzend liefert die CT Angaben zu Höhe und Winkel des Tenting der Mitralsegel, der Trikuspidalsegel sowie Dimension und Größe sowohl der links- als auch rechtsventrikulären Herzhöhlen.

Vor anderen strukturellen Interventionen wird die CT je nach individueller Anforderung durchgeführt.

Folgende Aspekte sollte der Befund bei Aortenstenose mindestens berücksichtigen:

1. Klappenmorphologie,
2. Dimensionen der Aortenwurzel,
3. Ausmaß und Charakteristik der Verkalkung der Klappen, des Aortenannulus und des LVOT,
4. Abstand Koronarostien-Annulus und Aussage zum Risiko einer Koronarobstruktion in Abhängigkeit vom ge-

- planten Klappentyp und Anatomie/
Morphologie der Nativklappe,
5. mögliche Zugangswege in Abhängigkeit von der erforderlichen Schleusen-
größe und
 6. mögliche fluoroskopische Angulationen.

Literatur: ESC-Leitlinie Klappenerkrankungen (2021; [21]), SCCT Konsensusdokument zu TAVI (2019; [3]).

Postinterventionelle Bildgebung nach Klappenersatz

Bei Verdacht auf eine Klappenthrombose oder Pannus kann eine CT ergänzend durchgeführt werden.

Endokarditis

In Ergänzung zu den auf klinischen, echokardiographischen und mikrobiologischen Befunden beruhende modifizierten Duke-Kriterien, wurde der CT in den letzten Leitlinien ein höherer Stellenwert zugesprochen. Der Nachweis von paravalvulären Läsionen in der Herz-CT ist als modifiziertes Hauptkriterium für eine Endokarditis zu werten. Auch das Vorliegen von abszessartigen oder -verdächtigen Formationen oder eine Dehiszenz der Klappenprothese kann in der CT verlässlich nachgewiesen werden. Flottierende Vegetationen können dagegen nicht zuverlässig nachgewiesen werden.

Folgenden Aspekt sollte der Befund mindestens berücksichtigen:

- Vorliegen abszessartiger oder abszessverdächtiger Formationen.

Literatur: ESC Leitlinie Endokarditis (2015), SCCT Consensus Statement Infective Endocarditis (2021; [8, 12]).

Perikarderkrankungen

Die primäre Diagnostik bei Perikarderkrankungen stellt die Echokardiographie dar. Als zweite Stufe der bildgebenden Verfahren kann die CT neben der kardialen MRT bei Verdacht auf einen gekammerten Perikarderguss, bei Perikardverdickung und perikardialen Raumforderungen, Beurteilung von Perikardverkalkungen eingesetzt werden.

Folgende Aspekte sollte der Befund mindestens berücksichtigen:

1. Perikardmorphologie,
2. Perikarddicke,
3. Verkalkungen,
4. Infiltration von Verkalkungen in das Myokard und
5. Perikarderguss.

Literatur: ESC Leitlinien Pericardial Disease 2015. [1].

Kardiale Morphologie

Die CT kann zur Darstellung der kardialen Morphologie auch bei anderen Erkrankungen oder Verdacht auf andere Erkrankungen sinnvoll sein, wenn andere bildgebende Verfahren nicht die notwendige Aussagekraft liefern. Beispiele sind Tumoren, angeborene Herzfehler vor und nach Korrektur, Fremdmaterial im Herzen und dessen Lage, linksventrikuläres Assist Device (LVAD) und anatomische Referenz für elektrophysiologische Ablations- und Mappingverfahren.

Folgenden Aspekt sollte der Befund mindestens berücksichtigen:

- Qualitative und quantitative Beschreibung der Morphologie je nach Anforderung und spezieller Fragestellung.

Extrakardiale Nebenfunde

Die Beurteilung aller im erhaltenen Datensatz abgebildeten Strukturen sollte gewährleistet sein. Dies schließt die Befundung der an das Herz angrenzende Gefäße (Aorta ascendens, Truncus pulmonalis) sowie extrakardiale Befunde an Mediastinum, Lunge, Oberbauch, Wirbelsäule und Thoraxwand ein. Die Befundung kann zeitlich und logistisch getrennt von der Befundung des Herzens erfolgen, die zeitgerechte Kommunikation relevanter Nebenfunde und eventuell möglicher Folgeuntersuchungen muss gewährleistet sein.

Qualitätskriterien und Qualitätskontrolle

Anforderung und klinische Angaben

Die Anforderung zu kardialen CT-Untersuchungen sollte dezidierte Angaben enthalten zu

1. Symptomatik des Patienten,
2. kardiovaskulären Risikofaktoren,
3. Vortestwahrscheinlichkeit für eine KHK und
4. relevanten Vorerkrankungen (insbesondere Vorbefunde aus der Echokardiographie oder anderen bildgebenden Verfahren sind zu dokumentieren).

Für die CCTA sind Kontraindikationen zur medikamentösen Senkung der Herzfrequenz (z. B. AV-Block, Vormedikation mit Kalziumantagonisten vom Nicht-Dihydropyridin-Typ) und zur Gabe von Nitraten (z. B. hypertroph-obstruktive Kardiomyopathie, Aortenklappenstenose, PDE-5-Hemmer-Einnahme) bezüglich der Indikationsstellung zu beachten und in der Anforderung zu dokumentieren.

Technische Qualitätskriterien

Die technischen Parameter des eingesetzten CT-Gerätes und das Untersuchungsprotokoll beeinflussen Bildqualität und Strahlenexposition bei CT-Untersuchungen des Herzens in maßgeblicher Weise. Für die CCTA können daher nur CT-Systeme eingesetzt werden, die sowohl über die Möglichkeit zur Spiral/Helikale-Akquisition mit retrospektiv EKG-synchronisierter Bildrekonstruktion als auch zur axialen Akquisition mit prospektiver EKG-Triggerung verfügen [6, 7, 9, 10, 20]. Dies setzt eine ausreichende Zahl simultan akquirierter Schichten voraus, da ansonsten die Abdeckung des Herzens eine so lange Aufnahmedauer erfordern kann, dass sie in einem Atemhaltezyklus nicht mehr zuverlässig gewährleistet ist. Zudem erhöht sich die Menge des benötigten Kontrastmittels. Das CT-System muss weiterhin über die Möglichkeit zur Akquisition mit Röhrenspannungen von 80–120 kV und über technische Verfahren zur Modulation des Röhrenstroms während der Akquisition verfügen. Für CT-Untersuchungen des Herzens außerhalb der Koronararterien mit geringerer Ortsauflösung sind ggf. geringere Anforderungen ausreichend. Die unten ausgeführten Voraussetzungen gelten für die CCTA.

Geräteausstattung (alle müssen erfüllt sein)

CT-System

- EKG-Registrierung und -Synchronisation
- Anzahl der Zeilen zumindest 128 (oder 64 bei Dual-Source-CT)
- Anzahl der simultan akquirierten Schichten zumindest 128
- Räumliche Auflösung $\leq 0,4$ mm
- Kleinste Schichtdicke $\leq 0,6$ mm
- Zeitliche Auflösung ≤ 175 ms ohne Kombination von Daten aus mehreren Herzzyklen
- Bereich Röhrenspannung zumindest 80–120 kV
- EKG-abhängige Modulation des Röhrenstroms

Verfügbare Akquisitionsmodi zumindest:

- Axiale Akquisition mit prospektiver EKG-Triggerung und
- Spiral/Helikale-Akquisition mit retrospektiv EKG-synchronisierter Bildrekonstruktion

Für Untersuchungen mit Kontrastmittelgabe:

- Kontrastmittelinjektor, programmierbar, Dual Head, Flussrate bis zumindest 7 ml/s

Rekonstruktionsverfahren:

- Iterative Rekonstruktion

Auswertung:

- Bildnachbearbeitungssoftware mit Möglichkeit zur multiplanaren Rekonstruktion in Echtzeit

Speicherung:

- Speicherung des Originaldatensatzes axialer Schichtbilder in maximal möglicher Auflösung

Untersuchungsablauf

Eine stabile Herzfrequenz < 60 /min ist anzustreben, um die Wahrscheinlichkeit von Artefakten zu minimieren und die Anwendung von Verfahren zur Reduktion der Strahlenexposition zu erlauben, ohne die Bildqualität negativ zu beeinflussen.

Alle der folgenden Kriterien müssen gewährleistet sein

- Vor Untersuchungsbeginn Beurteilung von Herzrhythmus und -frequenz anhand zumindest 1-Kanal EKG in tiefer Inspiration
- Medikamentöse Senkung der Herzfrequenz bei Ruhefrequenz > 65 /min durch die Gabe von Betablockern oral (genügend zeitlicher Vorlauf: zumindest 45 min vor der Untersuchung) oder Ivabradin (Vorlauf zumindest 24 h vor der Untersuchung) und zusätzlich ggf. β -Blockern i.v. (Metoprolol bis 40 mg)
- Gabe von Nitraten zur Koronardilatation, abgesehen von Patientinnen/Patienten mit Kontraindikationen
- Kontrastmittelflussrate ≥ 5 ml/s

Logistische und organisatorische Qualitätskriterien

- Nachsorge: Bei der CCTA-Überwachung für zumindest 30 min nach Gabe blutdruck- und herzfrequenzwirksamer Medikamente
- Während der Prämedikation ist auf eine ausreichende Überwachung der Patientinnen/Patienten zu achten. In Notfallmedizin geschultes ärztliches und Assistenzpersonal muss unmittelbar verfügbar sein, um auf Bradykardie oder Hypotonie reagieren zu können.
- Für den CT-Koronarkalknachweis und die CCTA: Individuelle Befundbesprechung durch Arzt, der/die die Bilder selbst gesehen hat und über die Möglichkeit zur eigenhändigen Auswertung des Bilddatensatzes zumindest durch interaktive Manipulation multiplanarer Ebenen in beliebiger Orientierung verfügt. Bei CT als Basisstruktureller Informationen muss keine Befundbesprechung direkt mit dem Patienten/der Patientin erfolgen, aber die Bilder müssen für die/den interventionellen Kardiologen verfügbar sein (mit Möglichkeit zur interaktiven Manipulation multiplanarer Rekonstruktionen in hoher Auflösung).
- Nachweis eines Notfallkonzeptes. Notfalltraining der Ärztinnen/Ärzte und des technischen Personals muss regelmäßig erfolgen und auf Anfrage nachgewiesen werden.

Qualitätskontrolle

Für die CCTA ist in regelmäßigen Abständen (nicht länger als 3-monatlich) zu erheben und zu dokumentieren:

- Strahlenexposition,
- mittlere Herzfrequenz aller Untersuchungen und Anzahl der Untersuchungen mit Herzfrequenz > 65 /min,
- Anzahl der Patientinnen/Patienten, bei denen die Nitratgabe erfolgte,
- jeweils Anzahl der Patientinnen/Patienten mit retrospektiver EKG-Synchronisation und mit prospektiver EKG-Triggerung sowie
- Anzahl der Patientinnen/Patienten mit artefaktfreier Darstellung aller Koronararterien.

Qualitätskriterien sind:

- mittlere Strahlenexposition: < 200 mGy*cm DLP,
- Anzahl der Untersuchungen mit Herzfrequenz > 65 /min: < 20 %,
- Anzahl der Untersuchungen mit prospektiver EKG-Triggerung: > 70 % und
- Anzahl der Untersuchungen mit uneingeschränkter Auswertbarkeit aller Koronararterien: > 85 %.

Qualifikationsempfehlungen

Die DGK hat 3 Kompetenzebenen definiert, die es dem Programmkandidaten ermöglichen, diese Qualifikation in konsekutiven Schritten zu erwerben und die Weiterbildung zum Kardiologen um spezielle Inhalte zu erweitern.

Die Teilnahme an dem Curriculum erfordert eine mindestens 3-jährige Grundausbildung in allgemeiner Kardiologie sowie Erfahrungen in der Echokardiographie und im Katheterlabor.

Dieses Curriculum der DGK ist in seinem Umfang mit dem internationalen Curriculum der Society for Cardiovascular Computed Tomography (SCCT) vergleichbar [4, 14, 19].

Grundlagen der Zusatzqualifikation sind neben den Kenntnissen der jeweiligen Krankheitsbilder auch grundlegende physikalische Prinzipien der CT, Kenntnisse des Untersuchungsganges und der Bildrekonstruktion, Aspekte der Bildqualität

und des Artefaktmanagements, Patientensicherheit und Strahlenschutz als auch das Erkennen und Befunden von außerkardialen Strukturen.

Die Stufen beinhalten im Einzelnen folgende Aspekte:

Level I: Die Qualifikation auf Stufe I soll dem Kardiologen vor allem helfen, die richtige Indikation zu stellen. Inhalte der strukturierten, curricularen Weiterbildung sind Sicherheitsaspekte und ein Überblick über die verschiedenen Indikationen und technologischen Grundlagen, die erforderlich sind, um die richtigen Antworten auf eine entsprechende kardiovaskuläre Fragestellung zu geben. Das theoretische Wissen, das sowohl in der Weiterbildungsstätte als auch innerhalb von Kursen erworben werden muss, wird durch die praktische Schulung an 50 Fällen des gesamten Indikationsspektrums unterstützt. Mindestens 40 Fälle müssen CCTAs sein. Es müssen zudem das Level I des allgemeinen Curriculums Kardiologie und die Beteiligung an 300 Katheteruntersuchungen nachgewiesen werden.

Level II: Level II soll den Kardiologen befähigen, die Untersuchung selbstständig zu planen, durchzuführen und zu befunden. Innerhalb von 3 Monaten müssen 100 selbstständige Untersuchungen nachgewiesen werden. Der Programmkandidat muss dabei direkt am Scanner trainieren. So soll sichergestellt werden, dass auch das physikalische Verständnis vertieft wird und der Kandidat lernt, Artefakte zu erkennen und zu vermeiden, um eine hohe Qualität der akquirierten Bilder zu gewährleisten. Es werden alle klinischen Inhalte vermittelt, um einen validen Befund zu erstellen, der den Patienten/die Patientin auf den richtigen Behandlungspfad leitet.

Level III: Die dritte Stufe ist das höchste Niveau der Zusatzqualifikation Kardio-CT. Im Rahmen der Zusatzqualifikation muss der Programmkandidat über 12 Monate überwiegend am CT eingesetzt werden und soll in dieser Zeit mindestens 300 Befunde erhoben haben. Zusätzlich muss in dieser Zeit die Ausbildung im Katheterlabor vertieft werden, was auch die Darstellung und Beurteilung von Bypässen beinhaltet. Idealerweise sollte der Kardiologe auch über die Zusatzqualifikation invasive Kardiologie verfügen. Vorteilhaft ist auch eine wissenschaftliche Expertise in diesem

Bereich, die durch Publikationen nachgewiesen werden kann.

Zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Positionspapiers haben rund 200 Kardiologen die Level II bzw. III Zertifizierung für kardiale CT und rund 350 Kardiologen die Level II bzw. III für die kardiale MRT erworben. Im Vergleich dazu haben 294 Radiologen das analoge Level Q2 und 195 das Level Q3, wobei in der DRG kardiales CT und MRT kombiniert angegeben werden, was eine objektive Vergleichbarkeit erschwert.

Für alle an der endgültigen Durchführung und Befundung beteiligten Ärzte sollte die Mindestanforderung Level II bzw. Q2 sein.

Optimierte Patientenversorgung durch interdisziplinäre Zusammenarbeit in einem kooperativen Modell

Gemeinsame Kompetenzen

Der diagnostische Pfad beginnt mit der Selektion des angemessenen Verfahrens für den Patienten, welches seine individuellen Beschwerden und sein Risikoprofil sowie lokale Verfügbarkeiten und Expertise berücksichtigen sollte. Daran schließen sich die sichere Durchführung und kompetente Befundung an, die schließlich zu einer eindeutigen Empfehlung für das weitere Vorgehen und die Therapie des Patienten führen sollte.

Im Kern geht es dabei immer darum, klinische Wahrscheinlichkeiten und Risiken gegeneinander abzuwägen. Dies erfordert eine enge Zusammenarbeit von Kardiologen und Radiologen bei der kardialen CT, in die beide ihre jeweilige Expertise und vor allen Dingen Erfahrung einbringen sollten.

Im Folgenden soll dies für jeden Schritt von Indikation bis Therapieempfehlung berücksichtigt werden. Die Kompetenzen sollen diskutiert werden, die jeweils von beiden Seiten in die erfolgreiche Betreuung des Patienten eingebracht werden sollten (s. zentrale Illustration in **Abb. 1**).

Ziel ist das Verfahren in hoher Qualität in die klinische, vertragsärztliche Versorgung zu bringen. *Eine unkontrollierte Leistungsausweitung muss dabei vermieden werden.* Dem Kardiologen kommt hier in dem Heart-Team-Modell die Rolle

eines „Gatekeepers“ zu, der Sorge trägt, dass nur die Patienten und Patientinnen Zugang zur Methode bekommen, die

- a) davon wirklich profitieren,
- b) bei denen eine Leitlinienindikation vorliegt, und

der gleichzeitig sicherstellt, dass der Befund zu einer unmittelbaren klinischen Konsequenz führt, ohne eine Kette weiterer (für die Patienten und Patientinnen belastende und das Gesundheitssystem kostenintensive) Folgeuntersuchungen mit nichtinvasiver Diagnostik und nachfolgend eventuell dann doch invasiver Diagnostik zur Absicherung nach sich zu ziehen.

Indikationsstellung

Die Indikation zur CCTA sollte leitliniengemäß der Vortestwahrscheinlichkeit für eine KHK folgen. Diese hängt entscheidend von der Beschwerdesymptomatik des Patienten/der Patientin ab und sollte bzw. muss in einem optimalen Modell deswegen von einem Facharzt für Kardiologie abgeschätzt werden, der den Patienten und seine Beschwerden aus dem persönlichen Behandlungskontakt kennt, und die Einordnung dieser Beschwerden in den Gesamtkontext zu den internistisch, kardiologischen Kernkompetenzen zählt. Daneben sollten auch anthropometrische Aspekte berücksichtigt werden, die sich auf strahlenhygienische Überlegungen auswirken, um die niedrigstmögliche Exposition ionisierender Strahlung sicherzustellen.

Bei der Indikation zur CT vor geplanten Interventionen struktureller Herzerkrankung ist schon bei der Indikationsstellung darauf zu achten, dass Aspekte der Intervention selbst berücksichtigt werden. Die betrifft vor allen Dingen die Entscheidung über das Untersuchungsfenster und das „pulsing window“, d.h. die Phase des Herzzyklus, die abgebildet sein muss, um die Intervention sicher planen zu können. Hier ist die Erfahrung des Kardiologen mit interventionellem Schwerpunkt insbesondere im Bereich der strukturellen Herzerkrankung gefordert, z. B. um zu entscheiden, ob nur diastolische, systolische oder Bildinformationen des gesamten Herzzyklus gebraucht werden.

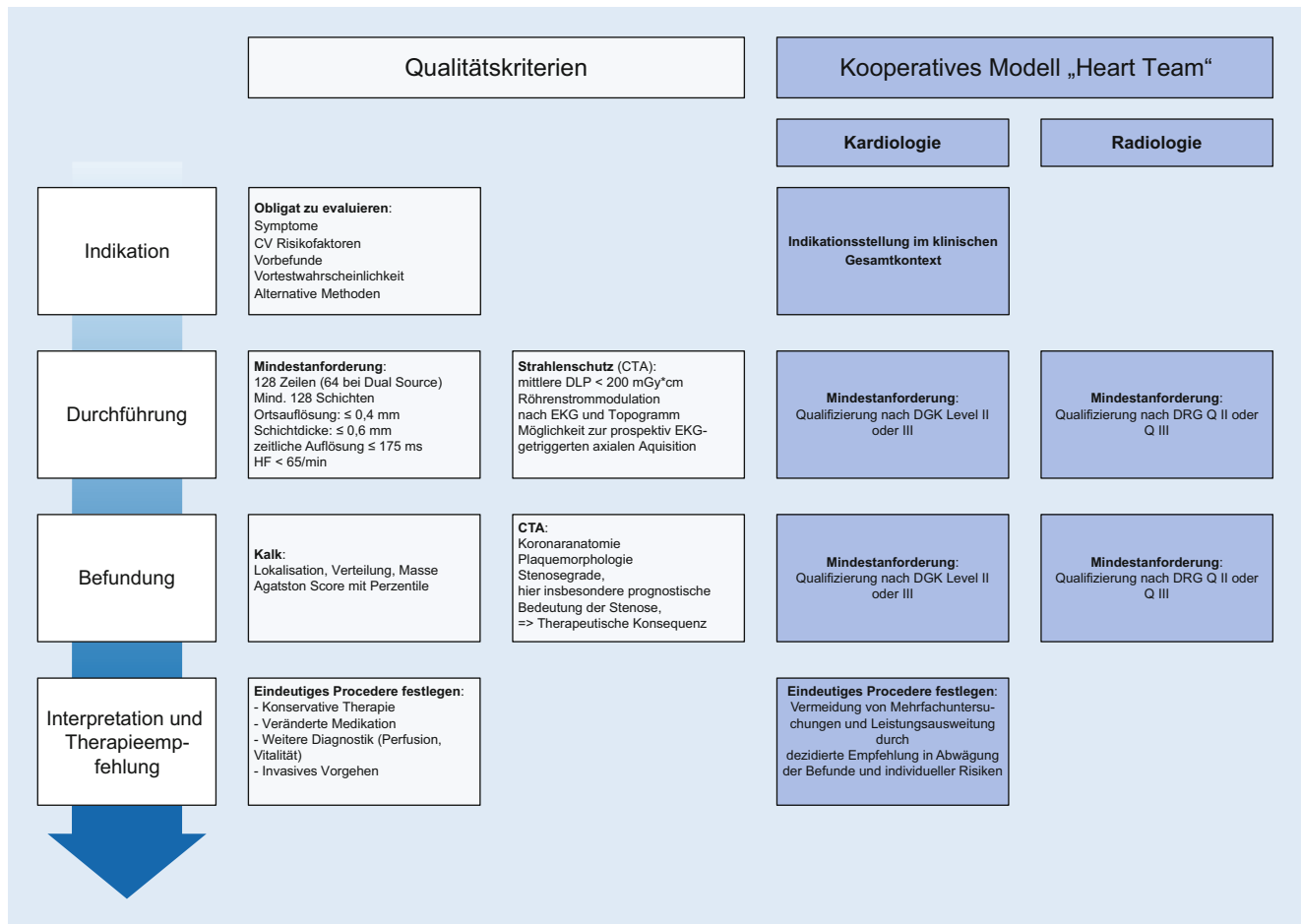


Abb. 1 ▲ Pfade, Qualitätskriterien und kooperatives Modell für die CCTA im ambulanten und stationären Bereich

In jedem Fall müssen alle klinischen Befunde und die ausführliche Vorgeschichte auch zur Durchführung und Befundung zur Verfügung gestellt werden bzw. direkt einsehbar sein.

Die rechtfertigende Indikation gemäß §83 Strahlenschutzgesetz zu stellen erfordert die Fachkunde Computertomographie, die derzeit an den meisten Standorten Fachärztinnen und Fachärzten für Radiologie vorbehalten ist, gegen deren Erwerb durch Fachärztinnen und Fachärzte für Kardiologie aber keine gesetzlichen Hindernisse entgegenstehen. Die Feststellung, dass der gesundheitliche Nutzen gegenüber dem Strahlenrisiko überwiegt, ist aber alleine nicht ausreichend, um sicherzustellen, dass am Ende auch das klinische Ziel erreicht wird. Die Indikationsstellung sollten Fachärzte beider Fachgesellschaften kooperativ erbringen sollten.

Durchführung

Ziel der Untersuchung ist, eine optimale Bildqualität bei geringer Exposition ionisierender Strahlung zu erreichen.

Trotz fortschreitender technologischer Verbesserungen der Scanner hängt die Qualität auch und gerade von physiologischen Voraussetzungen ab. Die Frequenzkontrolle ist daher von entscheidender Bedeutung. Auf eine ausreichende Prämedikation mit β -Blockern oder Ivabradin ist daher zu achten; bei nicht hinreichender Frequenzkontrolle sollten β -Blocker i.v. verabreicht werden. Klinische Erfahrung mit herzwirksamen Substanzen ist daher notwendig. Mögliche Komplikationen durch die Frequenzblockade sollten sicher beherrscht werden.

Zudem ist technische Expertise erforderlich, um ein Untersuchungsprotokoll auszuwählen, das dem ALARA-Prinzip folgt. Einige der technischen Überlegun-

gen zum Protokoll (prospektives Triggering/retrospektives Gating, systolische/diastolische Akquisition) müssen auch die physiologischen Grundbedingungen berücksichtigen. Die Durchführung sollte kooperativ erfolgen. Der Radiologe kann seine technische Expertise einbringen, der Kardiologe die klinische Erfahrung im Umgang mit Rhythmuskontrolle und Aspekte der Bildgebung, die maßgeblich vom Herzzyklus und der Herzfrequenz abhängen, beispielsweise der Notwendigkeit systolischer oder diastolischer Bildakquisition.

Befundung

Die Qualität der kardialen CT und die Verbesserung des Outcomes für den Patienten/die Patientin hängen im Wesentlichen an einer interdisziplinären Befundung und nachgewiesener Kompetenz im Rahmen der Indikationsfragestellung, in deren Zen-

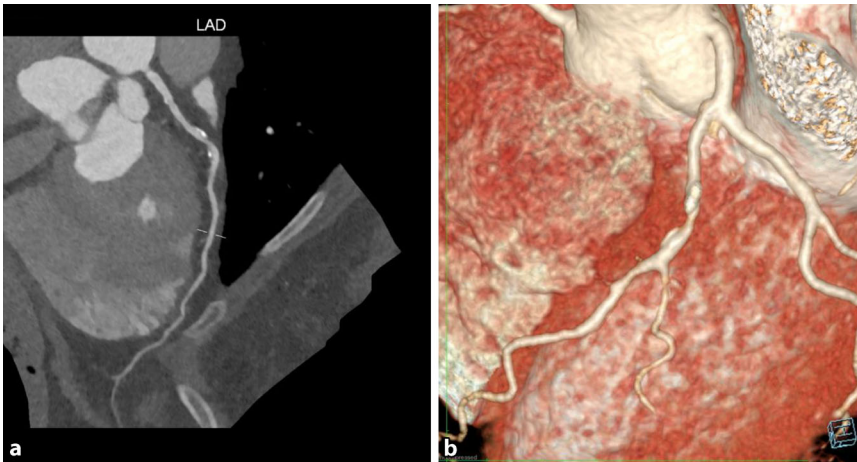


Abb. 2 ▲ Intermediäre Stenose der LAD. **a** Curved MRP, **b** 3D-VRT-Darstellung. Gerade intermediäre Stenosen erfordern viel klinische Expertise, um Überdiagnostik (invasiv und nicht invasiv) zu vermeiden

trum der Patient/die Patientin mit seiner individuellen Krankengeschichte steht.

Die Befundung sollte nach einem für das jeweilige Zentrum vorgegebenen Standard erfolgen.

Die Geometrie der Herzhöhlen und die großen Gefäße müssen in jedem Fall mit befundet werden.

Eine Herausforderung stellen vor allen Dingen grenzwertige Befunde dar. Hier sollten der Befund über eine reine Beschreibung hinausgehen und das individuelle Risiko für den Patienten/die Patientin in die Befundung einbezogen werden, um Empfehlungen geben zu können, die gleichzeitig unnötige Folge- oder Zweituntersuchungen vermeiden und trotzdem Sicherheit für den Patienten/die Patientin bieten. Gerade hier ist die Erfahrung des Kardiologen unverzichtbar, da die prognostische Bedeutung einer intermediären Koronarstenose (■ **Abb. 2**) nur mit Erfahrung in invasiver Kardiologie abgeschätzt werden kann. Nur die begleitende Betreuung von Patienten mit chronischem Koronarsyndrom über die Zeit lehrt, wann unmittelbares Handeln erforderlich oder beobachtendes Abwarten gerechtfertigt ist.

Ein weiterer wichtiger Aspekt sind Artefakte oder potenzielle Überinterpretationen von möglichen Stenosen einzelner Koronarsegmente, die nicht notwendigerweise zu einer Koronarangiographie oder weiterer nichtinvasiver Diagnostik führen müssen, wenn klinische Erfahrung, ausführliche Anamnese des Patienten/der Pa-

tientin und Kalzium-Scoring mitberücksichtigt werden.

Besondere Aufmerksamkeit muss auch den Nebenbefunden gewidmet werden. Insbesondere mögliche Malignome/Metastasen des Skelettsystems, der Lunge, der Mamma und des lymphatischen Systems müssen beachtet werden. Da aus strahlenhygienischen Gründen nur ein geringer Teil des gesamten Thorax abgebildet ist, darf hierbei das Topogramm nicht übersehen werden.

Ein kooperatives Modell mit gemeinsamer Befundung eines Kardiologen und Radiologen, die beide über eine Zertifizierung auf mindestens Level II ihrer jeweiligen Fachgesellschaften verfügen müssen, stellt am besten sicher, all diesen Aspekten und Anforderungen gerecht zu werden. Eine Befundung im ambulanten Bereich kann auch durch ein teleradiologisches Konzept in Deutschland problemlos etabliert werden.

Therapieempfehlung

Die Therapieempfehlung beinhaltet im Wesentlichen die beiden Aspekte der interventionellen Therapie und der präventiven Pharmakotherapie, in einzelnen Fällen auch weiterführende bildgebende Diagnostik.

Deskriptive Graduierungen von Stenosen sind nicht ausreichend, um diese Entscheidungen treffen zu können.

Letztlich geht es immer darum, das individuelle Risiko, das sich aus dem Be-

fund des Patienten oder der Patientin ergibt, mit dem klinischen Kontext in Verbindung zu bringen und gegen das Risiko der weiteren therapeutischen/diagnostischen Schritte abzuwägen. Auch die Stärken und Limitationen der Methode sollten mit in die Empfehlung einbezogen werden.

Wichtig ist, dass in der Konsequenz dieser Erwägungen immer eine eindeutige Empfehlung für den Patienten/die Patientin gegeben wird. Das kann sein:

1. eine konservative Therapie ohne weitere Medikation mit/ohne weiterer differentialdiagnostischer Abklärung der klinischen Beschwerden,
2. eine primär konservative Therapie mit Indizierung einer Sekundärprophylaxe mit Statin und/oder anderen LDL-Cholesterolsenkenden Substanzen und/oder ASS mit/ohne weiterer differentialdiagnostischer Abklärung der klinischen Beschwerden,
3. eine Indikation zur Beurteilung der funktionellen Relevanz einer Stenose mittels bildgebender nicht-invasiver Ischämiediagnostik oder
4. die Indikation zur direkten invasiven Diagnostik.

Die Therapieempfehlung kann daher nur von einem Kardiologen gegeben werden. Eine Indikationsstellung zur direkten Überweisung in die Herzchirurgie basierend auf dem Koronar-CT-Befund ist nicht durch die derzeitige Evidenz abgebildet und birgt ein nicht unerhebliches Risiko.

Schlussfolgerung

Die hier beschriebenen Qualitätsziele können am besten in einem kooperativen Heart-Team-Modell realisiert werden, in dem die Leistung von Kardiologen und Radiologen gemeinsam erbracht wird. So kann eine nicht evidenzbasierte Leistungsausweitung vermieden werden.

Korrespondenzadresse



PD Dr. Andreas Rolf

Abteilung Kardiologie, Kerckhoff-Klinik
 Benekestr. 2–8, 61231 Bad Nauheim,
 Deutschland
 a.rolf@kerckhoff-klinik.de

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. Den Interessenkonflikt der Autoren finden Sie online auf der DGK-Homepage unter <http://leitlinien.dgk.org/> bei der entsprechenden Publikation.

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.

Literatur

1. Adler Y, Charron P, Imazio M, Badano L, Baron-Esquivias G, Bogaert J, Brucato A, Gueret P, Klingel K, Lionis C, Maisch B, Mayosi B, Pavie A, Ristic AD, Sabate Tenas M, Seferovic P, Swedberg K, Tomkowski W, ESC Scientific Document Group (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* 36:2921–2964. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv318>
2. BÄK, KBV, AWMF (2019) Nationale Versorgungsleitlinie KHK <https://doi.org/10.6101/AZQ/000441> (Version 1)
3. Blanke P, Weir-McCall JR, Achenbach S, Delgado V, Hausleiter J, Jilalawi 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* 13:1–20. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2018.11.008>
4. Choi AD, Thomas DM, Lee J, Abbara S, Cury RC, Leipsic JA, Maroules C, Nagpal P, Steigner ML, Wang DD, Williams MC, Zeb I, Villines TC, Blankstein R (2021) 2020 SCCT guideline for training cardiology and radiology trainees as independent practitioners (level II) and advanced practitioners (level III) in cardiovascular computed tomography: a statement from the society of cardiovascular

computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 15:2–15. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2020.08.003>

5. 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 (2021) 2020 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation. *Eur Heart J* 42:1289–1367. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehaa575>
6. Deseive S, Chen MY, Korosoglou G, Leipsic J, Martuscelli E, Carrascosa P, Mirsadraee S, White C, Hadamitzky M, Martinoff S, Menges AL, Bischoff B, Massberg S, Hausleiter J (2015) Prospective randomized trial on radiation dose estimates of CT angiography applying iterative image reconstruction: the PROTECTION V study. *JACC Cardiovasc Imaging* 8:888–896. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.02.024>
7. Deseive S, Pugliese F, Meave A, Alexanderson E, Martinoff S, Hadamitzky M, Massberg S, Hausleiter J (2015) Image quality and radiation dose of a prospectively electrocardiography-triggered high-pitch data acquisition strategy for coronary CT angiography: the multicenter, randomized PROTECTION IV study. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 9:278–285. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.03.001>
8. Habib G, Lancellotti P, Antunes MJ, Bongiorno MG, Casalta J-P, Zotti FD, Dulgheru R, Khoury GE, Erba PA, Lung B, Miro JM, Mulder BJ, Plonska-Gosciniak E, Price S, Roos-Hesselink J, Snygg-Martin U, Thuny F, Mas PT, Vilacosta I, Zamorano JL, Reviewers D, Erol Ç, Nihoyannopoulos P, Aboyans V, Agewall S, Athanassopoulos G, Aytekin S, Benzer W, Bueno H, Broekhuizen L, Carerj S, Cosyns B, Backer JD, Bonis MD, Dimopoulos K, Donal E, Drexel H, Flachskampf FA, Hall R, Halvorsen S, Hoen B, Kirchhof P, Lainscak M, Leite-Moreira AF, Lip GYH, Mestres CA, Piepoli MF, Punjabi PP, Rapezzi C, Rosenhek R, Siebens K, Tamargo J, Walker DM (2015) 2015 ESC guidelines for the management of infective endocarditis: the task force for the management of infective endocarditis of the European society of cardiology (ESC). Endorsed by: European association for cardio-thoracic surgery (EACTS), the European association of nuclear medicine (EANM). *Eur Heart J* 36:3075–3128. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv319>
9. Hausleiter J, Martinoff S, Hadamitzky M, Martuscelli E, Pschierer I, Feuchtnner GM, Catalan-Sanz P, Czermak B, Meyer TS, Hein F, Bischoff B, Kuse M, Schomig A, Achenbach S (2010) Image quality and radiation exposure with a low tube voltage protocol for coronary CT angiography results of the PROTECTION II trial. *JACC Cardiovasc Imaging* 3:1113–1123. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2010.08.016>
10. Hausleiter J, Meyer TS, Martuscelli E, Spagnolo P, Yamamoto H, Carrascosa P, Anger T, Lehmkühl L, Alkadhi H, Martinoff S, Hadamitzky M, Hein F, Bischoff B, Kuse M, Schomig A, Achenbach S (2012) Image quality and radiation exposure with prospectively ECG-triggered axial scanning for coronary CT angiography: the multicenter, multivendor, randomized PROTECTION-III study. *JACC Cardiovasc Imaging* 5:484–493. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2011.12.017>
11. Ibanez B, James S, Antunes MJ, Bucciarelli-Ducci C, Bueno H, Caforio ALP, Crea F, Goudevenos JA, Halvorsen S, Kastrati A, Lenzen MJ, Prescott E, Roffi M, Valgimigli M, Varenhorst C, Vranckx P, Widimsky P, ESC Scientific Document Group, Collet J-P, Kristensen SD, Aboyans V, Baumbach A, Bugiardini R, Fitzsimons D, Gaemperli O, Gershlick AH, Gielen S, Harjola V-P, Katus HA, Kolh P, Leclercq C, Lip GYH, Morais J, Neskovic AN, Neumann F-J, Niessner A, Piepoli MF, Richter DJ, Shlyakhto E, Simpson IA, Steg PG, Terkelsen CJ, Thygesen K, Windecker S, Zeymer U, Agewall S, Barbato E, Coca A, Coman IM, Dean V, Delgado V, Hindricks G, Lung B, Jüni P, Knuuti J, Lancellotti P, Leclercq C, McDonagh T, Piepoli MF, Ponikowski P, Shlyakhto E, Simpson IA, Zamorano JL, Chettibi M, Hayrapetyan HG, Metzler B, Ibrahimov F, Sujayeva V, Beauloye C, Dizdarevic-Hudic L, Karamfiloff K, Skoric B, Antoniades L, Tousek P, Terkelsen PJ, Shaheen SM, Marandi T, Niemelä M, Kedev S, Gilard M, Aladashvili A, Elsaesser A, Kanakakis IG, Merkely B, Gudnason T, Iakobishvili Z, Bolognese L, Berkinbayev S, Bajraktari G, Beishenkulov M, Zake I, Lamin HB, Gustiene O, Pereira B, Xuereb RG, Ztot S, Juliebø V, Legutko J, Timóteo AT, Tatu-Chițoiu G, Yakovlev A, Bertelli L, Nedeljkovic M, Studenčan M, Bunc M et al (2017) 2017 ESC guidelines for the management of acute myocardial infarction in patients presenting with ST-segment elevation. *Eur Heart J* 39:119–177. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehx393>
12. Khaliq OK, Veillet-Chowdhury M, Choi AD, Feuchtnner G, Lopez-Mattei J (2021) Cardiac computed tomography in the contemporary evaluation of infective endocarditis. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 15:304–312. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2021.02.001>
13. Knuuti J, Wijns W, Capodanno D, Deaton C, Cuisset T, Dickstein K, Escaned J, Gersh BJ, Svitil P, Hasdai D, Hatala R, Masip J, Muneretto C, Achenbach S, ESC Scientific Document Group, Neumann F-J, Sechtem U, Banning AP, Bonaros N, Bueno H, Bugiardini R, Chieffo A, Crea F, Czerny N, Dendale P, Flachskampf FA, Gohlke H, Grove EL, James S, Katritsis D, Landmesser U, Lettino M, Matter CM, Nathoe H, Niessner A, Patrono C, Pettersen SE, Piccolo R, Piepoli MF, Popescu BA, Räber L, Roithinger FX, Shlyakhto E, Sibbing D, Silber S, Vardas P, Witkowski A, Zamorano JL, Agewall S, Barbato E, Bax JJ, Edvardsen T, Funck-Brentano C, Gilard M, Hatala R, Mahfoud F, Muneretto C, Prescott E, Saraste A, Storey RF, Valgimigli M, Windecker S, Aboyans V, Baigent C, Collet J-P, Dean V, Delgado V, Fitzsimons D, Gale CP, Grobbee D, Halvorsen S, Hindricks G, Lung B, Jüni P, Katus HA, Leclercq C, Lewis BS, Merkely B, Mueller C, Petersen S, Petronio AS, Richter DJ, Roffi M, Simpson IA, Sousa-Uva M, Touyz RM, Benkhedda S, Metzler B, Sujayeva V, Cosyns B, Kusljagic Z, Velchev V, Panayi G, Kala P, Haahr-Pedersen SA, Kabil H, Ainla T, Kaukonen T, Cayla G, Pagava Z, Woehrle J, Kanakakis J, Tóth K, Gudnason T, Peace A, Aronson D, Riccio C, Elezi S, Mirrahimov E, Hansone S, Sarkis A, Babarskiene R, Beissel J, Maempel AJC, Revenco V et al (2019) 2019 ESC guidelines for the diagnosis and management of chronic coronary syndromes. *Eur Heart J* 40:106–171. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehz425>
14. Maroules CD, Cheezum MK, Joshi PH, Williams M, Simprini LA, Nelson KH, Bittencourt MS, Carr JJ, Weigold WG, Cury RC, Blankstein R, Abbara S (2015) SCCT curriculum guidelines for general (level I) cardiovascular CT training. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 9:81–88. <https://doi.org/10.1016/j.jcct.2015.01.004>

15. McDonagh TA, Metra M, Adamo M, Gardner RS, Baumbach A, Bohm M, Burri H, Butler J, Celutkiene J, Chioncel O, Cleland JGF, Coats AJS, Crespo-Leiro MG, Farmakis D, Gilard M, Heymans S, Hoes AW, Jaarsma T, Jankowska EA, Lainscak M, Lam CSP, Lyon AR, McMurray JJJ, Mebazaa A, Mindham R, Muneretto C, Piepoli FM, Price S, Rosano GMC, Ruschitzka F, Skibelund KA, ESC Scientific Document Group (2021) 2021 ESC guidelines for the diagnosis and treatment of acute and chronic heart failure. *Eur Heart J* 42:3599–3726. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab368>
16. Neglia D, Liga R, Gimelli A, Podlesnikar T, Cvijic M, Pontone G, Miglioranza MH, Guaricci AI, Seitun S, Clemente A, Sumin A, Vitola J, Saraste A, Paunonen C, Sia CH, Paleev F, Sade LE, Zamorano JL, Maroz-Vadalazhskaya N, Anagnostopoulos C, Macedo F, Knuuti J, Edvardsen T, Cosyns B, Petersen SE, Magne J, Laroche C, Berle C, Popescu BA, Delgado V, EURECA Investigators (2023) Use of cardiac imaging in chronic coronary syndromes: the EURECA Imaging registry. *Eur Heart J* 44:142–158. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehac640>
17. Neumann F-J, Sousa-Uva M, Ahlsson A, Alfonso F, Banning AP, Benedetto U, Byrne RA, Falk V, Head SJ, Kastrati A, Koller A, Kristensen SD, Niebauer J, Richter DJ, Seferović PM, Sibbing D, Stefanini GG, Yadav R, Zembala MO, ESC Scientific Document Group, Wijns W, Glineur D, Aboyans V, Achenbach S, Andreotti F, Barbato E, Baumbach A, Brophy J, Bueno H, Calvert PA, Capodanno D, Davierwala PM, Delgado V, Dudek D, Freemantle N, Funck-Brentano C, Giele S, Gilard M, Gorenek B, Haasenritter J, Haude M, Ibanez B, Jeppsson A, Kastritis D, Knuuti J, Kolh P, Leite-Moreira A, Lund LH, Maisano F, Mehilli J, Metzler B, Montalescot G, Pagano D, Petronio AS, Piepoli MF, Popescu BA, Sádaba R, Shlyakhto E, Silber S, Simpson IA, Sparv D, Tavilla G, Thiele H, Toušek P, Belle EV, Vranckx P, Witkowski A, Windecker S, Agewall S, Coca A, Collet J-P, Coman IM, Dean V, Fitzsimons D, Gaemperli O, Hindricks G, Lung B, Jüni P, Katus HA, Lancellotti P, Leclercq C, McDonagh TA, Piepoli MF, Ponikowski P, Roffi M, Shlyakhto E, Sousa-Uva M, Simpson IA, Zamorano JL, Pagano D, Sousa-Uva M, Chettibi M, Sisakian H, Ibrahimov F, Stelmashok VI, Postadzhiyan A, Skoric B, Eftychiou C, Kala P, Terkelsen CJ, Magdy A, Eha J, Niemelä M, Kedev S, Motreff P, Aladashvili A, Kanakakis I-G, Becker D, Gudnason T, Peace A, Romeo F, Bajraktari G, Kerimkulova A, Rudzitis A, Ghazzal Z, Kibarskis A, Pereira B, Xuereb RG, Hofma SH, Steigen TK et al (2018) 2018 ESC/EACTS guidelines on myocardial revascularization. *Eur Heart J* 40:87–165. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy394>
18. Roffi M, Patrono C, Collet J-P, Mueller C, Valgimigli M, Andreotti F, Bax JJ, Borger MA, Brotons C, Chew DP, Gencer B, Hasenfuss G, Kjeldsen K, Lancellotti P, Landmesser U, Mehilli J, Mukherjee D, Storey RF, Windecker S, ESC Scientific Document Group (2016) 2015 ESC guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation (Task Force for the Management of Acute Coronary Syndromes in Patients Presenting without Persistent ST-Segment Elevation of the European Society of Cardiology (ESC))
19. Schmermund A, Achenbach S, Leber A, Strasser RH, Korosoglou G, Hausleiter J, Voigtländer T, Katus HA (2015) Curriculum kardiologie Computertomographie. *Kardiologie* 9:363–374. <https://doi.org/10.1007/s12181-015-0024-6>

Quality criteria for the performance of cardiac computed tomography. Position paper of the German Cardiac Society

Cardiac computed tomography (CT) has a high potential for optimization of patient care, especially in patients with chronic coronary syndrome and for planning catheter-assisted treatment of structural heart disease. A look at the United Kingdom (UK), where computed tomography angiography of the coronaries (CCTA) is now the standard and has become the primary diagnostic procedure, shows that the indications for invasive coronary diagnostics can be used with high patient safety and cost efficiency. To achieve this goal it is necessary to have clear quality criteria on the indications, performance, evaluation of the results and treatment recommendations. A cooperative heart team model with joint performance of services by radiologists and cardiologists is best suited to achieve these quality targets and to avoid a non-evidence-based expansion of services, which provokes additional workloads and therefore a significantly increased burden for the healthcare system.

Keywords

Chronic coronary syndrome · Accreditation · Health care economics · Cost efficiency · Cardiology

20. Stocker TJ, Deseive S, Leipsic J, Hadamitzky M, Chen MY, Rubinshtein R, Heckner M, Bax JJ, Fang XM, Grove EL, Lesser J, Maurovich-Horvat P, Otton J, Shin S, Pontone G, Marques H, Chow B, Nomura CH, Tabbalat R, Schmermund A, Kang JW, Naoum C, Atkins M, Martuscelli E, Massberg S, Hausleiter J, PROTECTION VI investigators (2018) Reduction in radiation exposure in cardiovascular computed tomography imaging: results from the PROspective multicenter registry on radiation dose Estimates of cardiac CT angiography in daily practice in 2017 (PROTECTION VI). *Eur Heart J* 39:3715–3723. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehy546>
21. 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, Juni P, Pierard L, Prendergast BD, Sadaba JR, Tribouilloy C, Wojakowski W, ESC/EACTS Scientific Document Group (2022) 2021 ESC/EACTS guidelines for the management of valvular heart disease. *Eur Heart J* 43:561–632. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab395>
22. Visseren FLJ, Mach F, Smulders YM, Carballo D, Koskinas KC, Back M, Benetos A, Biffi A, Boavida JM, Capodanno D, Cosyns B, Crawford C, Davos CH, Desormais I, Di Angelantonio E, Franco OH, Halvorsen S, Hobbs FDR, Hollander M, Jankowska EA, Michal M, Sacco S, Sattar N, Tokgozoglou L, Tonstad S, Tsioufis KP, van Dis L, van Gelder IC, Wannier C, Williams B, ESC National Cardiac Societies, ESC Scientific Document Group (2021) 2021 ESC guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice. *Eur Heart J* 42:3227–3337. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehab484>