

Journal für Kardiologie

Austrian Journal of Cardiology

Österreichische Zeitschrift für Herz-Kreislaferkrankungen

Bildgebung mittels Herz-CT

Schuchlenz H

Journal für Kardiologie - Austrian

Journal of Cardiology 2013; 20

(3-4), 68-74

Homepage:

www.kup.at/kardiologie

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche



ÖKG
Österreichische
Kardiologische
Gesellschaft

Offizielles
Partnerjournal der ÖKG



EUROPEAN
SOCIETY OF
CARDIOLOGY®

Member of the ESC-Editor's Club



Offizielles Organ des
Österreichischen Herzfonds



ACVC
Association for
Acute CardioVascular Care

In Kooperation
mit der ACVC

Indexed in ESCI
part of Web of Science

Indexed in EMBASE

Datenschutz:

Ihre Daten unterliegen dem Datenschutzgesetz und werden nicht an Dritte weitergegeben. Die Daten werden vom Verlag ausschließlich für den Versand der PDF-Files des Journals für Kardiologie und eventueller weiterer Informationen das Journal betreffend genutzt.

Lieferung:

Die Lieferung umfasst die jeweils aktuelle Ausgabe des Journals für Kardiologie. Sie werden per E-Mail informiert, durch Klick auf den gesendeten Link erhalten Sie die komplette Ausgabe als PDF (Umfang ca. 5–10 MB). Außerhalb dieses Angebots ist keine Lieferung möglich.

Abbestellen:

Das Gratis-Online-Abonnement kann jederzeit per Mausklick wieder abbestellt werden. In jeder Benachrichtigung finden Sie die Information, wie das Abo abbestellt werden kann.

Das e-Journal

Journal für Kardiologie

- ✓ steht als PDF-Datei (ca. 5–10 MB) stets internetunabhängig zur Verfügung
- ✓ kann bei geringem Platzaufwand gespeichert werden
- ✓ ist jederzeit abrufbar
- ✓ bietet einen direkten, ortsunabhängigen Zugriff
- ✓ ist funktionsfähig auf Tablets, iPads und den meisten marktüblichen e-Book-Readern
- ✓ ist leicht im Volltext durchsuchbar
- ✓ umfasst neben Texten und Bildern ggf. auch eingebettete Videosequenzen.

Bildgebung mittels Herz-CT

H. Schuchlenz

Kurzfassung: Die Mehrzeilen-Computertomographie (MSCT) ist jenes Schnittbildverfahren, welches in den vergangenen Jahren unter den nicht-invasiven kardialen Bildgebungsverfahren die rasanteste technische Entwicklung erfahren hat. Mittlerweile stellen 64-Zeilen-Geräte den Mindeststandard dar. Die Dual-Source-CT- (DSCT-) Technologie, Vermehrung der Zeilen, sowie spezielle Detektoren haben die räumliche und zeitliche Auflösung deutlich verbessert und die Strahlenbelastung drastisch reduziert. Bedurfte es früher 20–40 Sekunden (sek), bis eine komplette Herzuntersuchung durchgeführt wurde, ermöglichen moderne Geräte heute mit Akquisitionszeiten < 100 Millisekunden (ms) komplette Aufnahmen während eines Herzschlages. Diese Methode hat sich nicht nur als eine der genauesten

Techniken zum sicheren Ausschluss einer KHK etabliert, sondern erlaubt nun auch eine seriöse Quantifizierung von Stenosegraden. Neuere, vielversprechende Forschungen zeigen darüber hinaus das Potenzial für funktionelle Untersuchungen.

Schlüsselwörter: Computertomographie, Koronare Herzkrankheit, nicht-invasive Herzbildgebung, Koronarangiographie

Abstract: Imaging via Cardiac CT. Multi-slice computed tomography (MSCT) is the noninvasive cardiac imaging technology which has made the most rapid technology advances in recent years. Meanwhile, 64-row equipment is the minimum

standard for imaging coronary arteries. The dual-source CT (DSCT) technology, expansion of the lines, as well as special detectors have improved spatial and temporal resolution and have drastically reduced radiation exposure. A complete cardiac examination is now possible within one heart beat. This method is not only the most accurate method for ruling out coronary heart disease but can also identify and seriously quantify coronary artery disease. Newer promising studies show furthermore the potential for functional evaluation of intermediate coronary artery stenosis. **J Kardiol 2013; 20 (3–4): 68–74.**

Key words: computed tomography, coronary heart disease, non invasive cardiac imaging, coronary angiography

■ Einleitung/Technische Hintergrundinformation

Die koronare Herzkrankheit (KHK) stellt in der westlichen Gesellschaft eine der wichtigsten Ursachen für Morbidität und Mortalität dar. Seit Einführung der invasiven Darstellung der Kranzgefäße mittels Herzkatheter gilt diese Diagnostik als sogenannte Goldstandard/Referenzmethode, an der neue Methoden gemessen werden. Die konventionelle Angiographie wird mit 30 Bildern/sek aufgenommen, was einer zeitlichen Auflösung von 33 ms entspricht, und liefert Bilder mit einer räumlichen Auflösung von ca. 0,2 mm² (Abb. 1).

Der größte Vorteil der konventionellen Angiographie ist somit eine hohe zeitliche/räumliche Auflösung mit der Möglichkeit direkter Eingriffe wie Ballondilatation oder koronare Stentimplantation. Allerdings werden in Europa und den USA nur 1/3 aller herkömmlichen Koronarangiographien in Verbindung mit einer interventionellen Prozedur (PTCA/CABG) durchgeführt, während der Rest „nur“ für diagnostische Zwecke ausgeführt wird, das heißt nur zur Überprüfung des Vorhandenseins und des Ausmaßes einer KHK [1]. So sind hinsichtlich begrenzter Ressourcen im Gesundheitswesen und im Interesse der Patienten zuverlässige, ökonomisch ver-

trebare nicht-invasive Methoden für die Bildgebung der Koronararterien wünschenswert.

Die Computertomographie (CT) hat sich schon länger als nicht-invasive Untersuchungsmodalität zur Darstellung der extrakardialen Gefäße etabliert und die invasive Angiographie abgelöst [2, 3]. Nicht nur die Diagnostik, sondern auch die Planung von interventionellen oder operativen Eingriffen an der Aorta oder z. B. an den zerebralen Gefäßen beruht heute auf der nicht-invasiven CT-Bildgebung. Die Darstellung der Herzkranzgefäße war aber lange Zeit wegen deren „Größe“ und des sich ständig in Bewegung befindlichen Herzens eine schwer zu beherrschende Herausforderung.

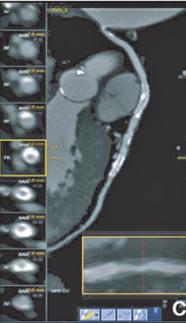
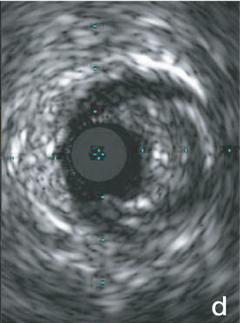
Fluoroskopie	DSCT; 3D	A Längsschnitt B Querschnitt	IVUS
			
		Räumliche Auflösung	
0,200 mm		0,300 mm ³	0,150–200 mm ²
		Zeitliche Auflösung	
30ms		75 ms	30 ms

Abbildung 1: Von links nach rechts: (a): Invasive Koronarangiographie mit hochgradiger RCA-Stenose; dazu im Vergleich (b): 3-dimensionales DSCT-Bild; (c): multiplanare LAD-Rekonstruktion mit gemischten Plaques; links seitlich die Querschnitte, im Insert eine rein weiche Plaque; (d): intravaskulärer Ultraschall einer gemischten Plaque.

Eingelangt und angenommen am 15. November 2012; Pre-Publishing Online am 6. Februar 2013.
Aus dem Department für Kardiologie, LKH Graz West
Korrespondenzadresse: PD Dr. Herwig Schuchlenz, Department für Kardiologie und Intensivmedizin, LKH Graz West, A-8020 Graz, Göstinger Straße 22;
E-Mail: herwig.schuchlenz@lkh-grazwest.at

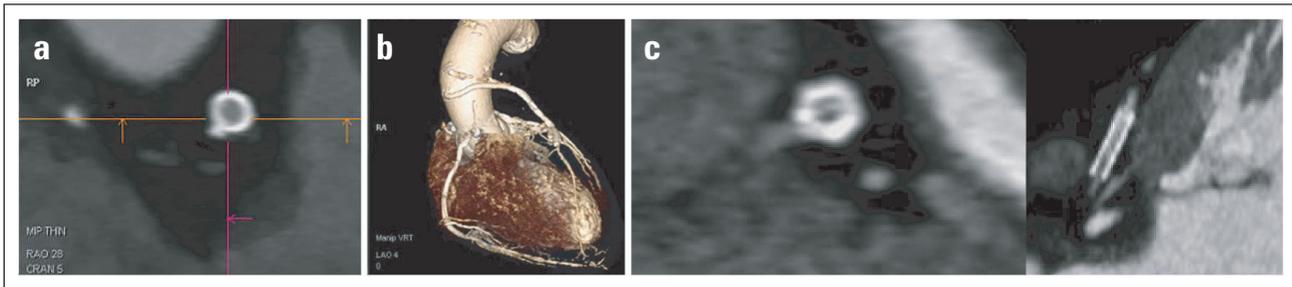


Abbildung 2: (a): RCA-Ostium-Stent ok; (b): ALA-Graft zu LAD-Graft offen; (c): Instenstenose, Intimahyperplasie am Stenteingang.

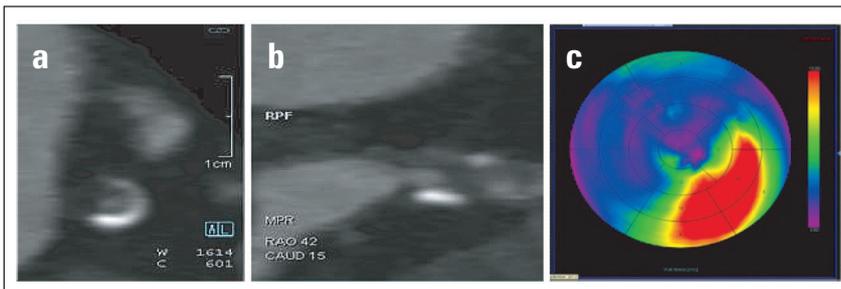


Abbildung 3: Chronischer Verschluss der LAD mit hoher Wahrscheinlichkeit für perkutanen Rekanalisationserfolg. (a) Querschnitt, sichelförmige Verkalkung von 12–08 h, im Zentrum noch minimales Lumen; (b): Längsschnitt; (c): Bullseye mit herabgesetzter Kontraktilität im LAD-Bereich.



Abbildung 4: Das FFR-CT-Bild zeigt den 3-dimensionalen Koronarbaum mit einer funktionell wirksamen LAD-Stenose (FFR unter 80 in rot).

© HeartFlow, Inc; Nachdruck mit freundlicher Genehmigung.

■ Modalitäten für die CT-Bildgebung des Herzens

Im Jahr 1998 wurden mechanische Spiral-CT-Systeme mit 4 Detektorzeilen und einer minimalen Rotationszeit von 500 ms eingeführt. Diese Entwicklung bot eine erhebliche Leistungssteigerung. Es folgten 2001 das 16-MSCT und 2004 das 64-MSCT, welches heute den unteren Standard der Herzbildgebung darstellt (0,4 mm³ räumliche Auflösung, Rotationsgeschwindigkeit 370 ms) [4, 5]. Eine weitere Quantensprung war 2005 die Einführung des 2-Röhren-Systems (DSCT), das noch schnellere Aufnahmen (75 ms, weniger Bewegungsartefakte) und mit weiterentwickelten Algorithmen eine drastische Reduzierung der Strahlenbelastung ermöglichte [6]. 2007 wurde der erste 320-Zeiler eingeführt. Praktisch innerhalb eines Jahrzehntes hat sich die zeitliche Auflösung somit von 500 ms auf deutlich < 100 ms reduziert und die räumliche Auflösung von 1–3 mm auf 0,23 mm³ verbessert. Bedurfte es anfangs bis zu 40 sek, bis eine komplette Herzuntersuchung durchgeführt wurde, ermöglichen heute moderne Geräte mit Akquisitionszeiten von von < 100 ms komplette detaillierte Darstellung des gesamten 3-dimensionalen Koronarbaumes während eines Herzschlages. Die CT-Schnittbildtechnik ermöglicht im Gegensatz zur invasiven CA darüber hinaus eine einfache qualitative Charakterisierung von Plaques (verkalkt, nicht-verkalkt, gemischt) (Abb. 2–4).

■ Coronary Calcium Scoring

Die älteste etablierte Einsatzmöglichkeit der Herz-CT (EBCT wurde 1984 eingeführt) ist die Bestimmung der Kalklast (Kalziumscore nach Agatston). Die Arteriosklerose ist fast immer mit einer Arterienverkalkung vergesellschaftet. Die Erfassung des koronaren Kalkes mittels CT ist eine hochempfindliche nicht-invasive Methode zur Bestimmung der Gegenwart von koronarer Arteriosklerose. Der Kalzium-

score wird ohne Kontrast und mit einer minimalen Strahlenbelastung (1–2 mSv) ermittelt. Obwohl der Koronarkalk in der Regel eng mit einer Entwicklung koronarer atherosklerotischen Plaques verbunden ist, stellt seine (CT-) Visualisierung bereits ein weiter fortgeschrittenes Stadium der Arteriosklerose dar. Die frühen und aktiven Stadien der koronaren Arteriosklerose scheinen jedoch häufiger mit nicht-verkalkten oder gemischt zusammengesetzten lipidreichen Plaques assoziiert. Moderne Herz-Kreislauf-Risiko-Scoring-Algorithmen gewichten das chronologische Alter überproportional als Risikofaktor.

Es konnte gezeigt werden, dass der Kalziumscore einen unabhängigen Risikomarker bei jungen und älteren Patienten darstellt. Ein Kalziumscore mit 0 Punkten vermittelt eine exzellente Prognose, dagegen hat ein hoher Kalziumscore das Potenzial, Patienten zu identifizieren, bei denen ein stark erhöhtes Risiko für kardiovaskulären Tod und Gesamt mortalität besteht. Inwieweit eine aggressive medikamentöse „Sekundärprävention“ bei diesen Patienten die Prognose verbessert, ist bisher noch nicht geklärt [7–14].

■ Genauigkeit der CTCA im Vergleich zur invasiven Koronarangiographie

Mittlerweile gibt es genügend Daten, die die Genauigkeit des CT in der Erkennung und Quantifizierung der Arteriosklerose dokumentieren. In zahllosen Studien mit mehreren 1000 eingeschlossenen Patienten wurden die anatomischen Ergebnisse der CT mit denen der invasiven CA verglichen. Zeigen Studien mit den ersten Gerätegenerationen nur mäßige Genauigkeiten bezüglich eines Ausschlusses oder der Erkennung einer Stenose > bzw. < 50 %, so werden mit dem 64-Zeilen-CT in Meta-Analysen Sensitivitäten von 97 % und Spezifitäten von 84 % beschrieben [15–17]. Hieraus lässt sich schon die erste unbestrittene Stärke der CT, nämlich der robusten

Tabelle 1: Empfohlene Beschreibung/Stenose Quantifizierung im Herz-CT. Quelle: American Society of Cardiovascular Computed Tomography.

Deskriptive Lumenbeschreibung	Stenosequantifizierung
Normal	Unauffällig, keine Plaques
Minimale oberflächige Veränderungen	Plaques < 25 %
Milde Plaques	25–49%-Stenose
Mäßige Obstruktion	50–69%-Stenose
Hochgradige Obstruktion	70–99%-Stenose
Verschluss	

Aussagenkraft bezüglich eines Ausschlusses einer KHK, erkennen. Wie aus den einschlägigen Richtlinien ersichtlich, wird das CT bei Patienten mit niedriger bzw. mäßiger Vortestwahrscheinlichkeit empfohlen [18, 19]. Ermöglichte die 64-MSCT-Generationen aufgrund ihrer Auflösung von ca. 0,4 mm × 0,4 mm × 0,6 mm Voxelgröße „nur“ einen Aussage über einen Ausschluss, bzw. die Diagnose einer KHK mit unter oder über 50%igen Stenosen, so können neuere Geräte mit Auflösungen von 0,3 mm³ einen Ausschluss einer Arteriosklerose zu 100 % garantieren und eine Quantifizierung der Stenose in 25%-Schritten zulassen (Tab. 1).

Prognose

Eine Meta-Analyse mit > 5000 Patienten dokumentierte klar den prognostischen Wert des CT sowie die Fähigkeit, unabhängig des kardiovaskulären Risikoprofils Niedrigrisikopatienten von Hochrisikopatienten zu differenzieren. Die kumulative kardiale Ereignisrate (MACE) über 21 Monate betrug 0,5 % bei unauffälligen Koronarien, 3,5 % bei nicht-obstruktiver und 16 % bei obstruktiver KHK. Dies gilt für Patienten mit stabiler AP sowie für jene mit akutem Thoraxschmerz und niedrig bis mäßiger Vortestwahrscheinlichkeit für eine KHK [17].

■ **Diagnostische Genauigkeit des DSCT**

Die invasive Angiographie ist im Prinzip eine suboptimale Referenzmethode für die Beurteilung der diagnostischen Genauigkeit der CT-Quantifizierung von Koronarstenosen. Der Herzkatheter ist ein 2D-Durchleuchtungsverfahren, das von der optimalen Angulation der Röntgenröhren abhängig ist und die Koronarien im Längsschnitt darstellt. Die CT ist ein Schnittbildverfahren, das nicht nur das Lumen, sondern auch die Gefäßwand in allen Ebenen (Querschnitt) beurteilen kann (Abb. 1–3). Der intravaskuläre Ultraschall (IVUS) stellt als Schnittbildtechnik (Auflösung 0,15 mm) die adäquate Modalität dar, da er wahre Gefäßquerschnittsansichten zeigt, das Ausmaß der Plaque-Belastung beurteilen kann und genaue Messungen des koronaren Lumens („minimal lumen area“, MLA; „minimal lumen diameter“, MLD) erlaubt. Eine rezente Studie, die die Genauigkeit des DSCT zur Quantifizierung des Stenosegrades mit dem intravaskulären Ultraschall (IVUS) als Referenzmethode verglich, zeigte dass der erhobene Stenosegrad/-fläche MLA und MLD gut übereinstimmten. Zeigten ältere MSCT-Studien, die Koronarstenosen des CT mit der invasiven Angiographie (QCA) verglichen, eher eine Tendenz zur Überschätzung

des Stenosegrades, so dokumentieren neuere DSCT-Studien, die als Referenzmethode den IVUS benützten, nur noch eine minimale klinisch unbedeutende Überschätzungen des Stenosegrades um ± 10 % [20–22].

Stabile KHK vs. ACS-Patienten

Bereits die ersten retrospektiven CT-Studien zeigten, dass Patienten mit einem ACS häufiger „weiche“, nicht-oder wenig-kalzifizierte Plaques und ein positives Remodelling aufwiesen als Patienten mit stabiler KHK [23]. Die Plaques zeigten überdies niedrigere Dichtewerte (HU < 30). In einer prospektiven Follow-up-Studie konnte bestätigt werden, dass Patienten mit entsprechenden Plaquemerkmalen in der Folge häufiger ein akutes Koronarsyndrom entwickeln [24]. In einer weiteren Interventions-/PCI-Studie waren solche Plaques häufiger mit einem Slow-flow-Phänomen verbunden, welches mit einer deutlichen Verschlechterung der Prognose vergesellschaftet ist [25]. Schließlich kann das CT noch nicht sogenannte vulnerable Plaques mit dünnen fibrösen Kapseln (sogenannte Thin-Cap-Fibro-Atherome; TCFA) identifizieren, da hierfür eine räumliche Auflösung von < 0,065 mm notwendig wäre. Diese Fragestellung lässt sich daher nur invasiv mittels Optical-Kohärenztomographie (OCT) beantworten. Moderne CT-Systeme erlauben somit, Plaques zu erkennen (ja/nein), zu quantifizieren (Stenosegrad mit einer Genauigkeit von ± 25 %), und zu charakterisieren (weiche, nicht-kalzifizierte, gemischte und kalzifizierte Plaques). In einer Meta-Analyse, die die Genauigkeit des CT im Vergleich zum IVUS (Goldstandard) analysierte, zeigte sich eine exzellente diagnostische Genauigkeit des CT, Plaques zu erkennen (Sensitivität 90 %, Spezifität 92 %) [20, 21].

Abklärung des akuten Thoraxschmerzes

Obwohl es etablierte Abklärungsalgorithmen für den Patienten mit akutem Thoraxschmerz gibt, stellt dieses Patientengut für die in den Notfallsaufnahmen arbeitenden Ärzte ein zunehmendes, häufiges Dilemma dar. Trotz negativer Biomarker und unauffälligem EKG werden viele Patienten stationär aufgenommen und invasiv abgeklärt, obwohl die Beschwerden meistens nicht-kardialer Natur sind. Andererseits werden 2–8 % der Patienten mit Thoraxschmerz ohne Biomarker oder EKG-Veränderungen mit signifikanter KHK nicht erkannt und vorzeitig entlassen [26–28]. Patienten mit normalen Koronarien haben eine ausgezeichnete Prognose, während sie bei kritischer KHK entsprechender schlechter ist. Da sich die CT-Angiographie als der einzige nicht-invasive Test etabliert hat, der mit einer fast 100 % diagnostischen Genauigkeit eine KHK ausschließen kann, spielt diese Technologie in diesem Setting eine zunehmende Rolle [29]. Während die invasive Koronarangiographie inkl. PTCA bzw. CABG die Diagnostik/Therapie der Wahl für Hochrisiko-, also NSTEMI- und STEMI-Patienten, darstellt, wird für Patienten mit niedrig- bis mäßiggradigem Risiko (ohne positivem Troponin oder spezifischen EKG-Kriterien), die nicht-invasive Abklärung mittels CT bereits in den rezenten ESC-ACS-Guidelines (Klasse IIa/Evidenz b) empfohlen. Das moderne CT erlaubt im Vergleich zu den traditionellen Abklärungsalgorithmen wie Belastungs-EKG und SPECT eine schnellere, kostengünstigere, genauere und sichere Triage dieser Patienten [30–35].

Akute thorakale Aortendissektion

Die akute Aortendissektion tritt deutlich seltener (2,0–3,5 Fälle pro 100.000 Personenjahre) als das akute Koronarsyndrom mit mehr als 200 Fällen pro 100.000 Personenjahren auf. Sie kann eine ähnliche Klinik wie das ACS aufweisen und ist mit einer noch höheren Mortalität vergesellschaftet, wenn sie nicht rechtzeitig erkannt und entsprechend therapiert wird. Die CT ist auch hier die Untersuchungsmethode der Wahl, die mit der besten Spezifität und Sensitivität beide Krankheitsbilder schnell diagnostizieren bzw. ausschließen kann [3].

■ Evaluation von Patienten mit geringer bis mäßiger Vortestwahrscheinlichkeit und unklaren Stress-Tests

Obwohl die etablierten Stress-Tests wie SPECT und Ergometrie in vielen Richtlinien gefordert werden und weit verbreitet sind, haben sie dennoch substanzielle Limitationen. Eine signifikante Anzahl falsch-positiver und falsch-negativer Ergebnisse trüben die Verlässlichkeit dieser Methoden [35]. Retro- und prospektive Studien haben an vielen 1000 Patienten gezeigt, dass die CT-Angiographie der Koronarien (CTCA) bei Patienten mit niedriger- bis mäßiger Vortestwahrscheinlichkeit und mit nicht-konklusiven Ergebnissen von Ergometrie oder SPECT eine bessere diagnostische Genauigkeit aufweist und viele unnötige invasive Koronarangiographien verhindern kann [36, 37]. Dies wurde für stabile wie auch für Patienten mit akutem Thoraxschmerz dokumentiert. Eine Multicenter-Studie mit über 6000 Herzkatheter-Patienten, die die Genauigkeit der vorhergehenden und SPECT-Untersuchungen verglich, zeigte, dass die Ergebnisse der SPECT-Untersuchungen schlechter mit denen des invasiven Herzkatheters korrelierte als die der CTCA. Die Sensitivität und Spezifität pathologischer SPECT-Tests waren 60 bzw. 34 % [38]! Bestätigt wurden diese Ergebnisse in einer weiteren Studie, die zeigen konnte, dass die CTCA und Herzkatheteruntersuchung in 70 % der Patienten mit gering pathologischen oder unklaren SPECT-Untersuchungen normal waren. Diese Studien erklären die hohe Anzahl (2/3) an unnötigen Koronarangiographien [1]. Waren ursprünglich die Befürchtungen groß, dass die CTCA unnötige Koronarangiographien zur Folge hat, entwickelt sich diese Methode zum verlässlichen Gatekeeper einer invasiven Abklärung/Therapie.

Präoperativer Ausschluss einer KHK

Die hohe diagnostische Genauigkeit erlaubt den Einsatz zur präoperativen Risikostratifizierung bei nichtkardialen Operationen, bei denen ein funktioneller Test nicht möglich ist [39, 40]. Ebenso kann heute der KHK-Ausschluss bei operationswürdigen Herzklappenpatienten, deren Vitium echokardiographisch abgeklärt wurde, mittels CTCA durchgeführt, und auf eine invasive Abklärung verzichtet werden [41].

Bypass-Follow-up

Der Quantensprung in der Beurteilung von Bypassstenosen bzw. Verschlüssen wurde mit dem 64er-MSCT erreicht. Mit Sensitivitäten und Spezifitäten > 90 % ist es möglich, sowohl venöse als auch arterielle Grafts zuverlässig zu beurteilen. Limitiert ist die Methode allerdings bei langsamen „runoff“ und schwerer diffuser kalzifizierter KHK der Nativgefäße [42] (Abb. 2).

Stentbeurteilungen

War die Stentbeurteilung v. a. wegen der Metallartefakte (blooming) für die älteren CT- und Stentgenerationen nicht seriös durchführbar, so ist dies heute aufgrund der höheren räumlichen und zeitlichen Auflösung bei Stents > 2,5 mm mit einer diagnostischen Genauigkeit von > 90 % möglich [43–47] (Abb. 2).

Planung von Interventionen

War bisher der Ausschluss einer KHK und die „Ersparnis“ einer invasiven Herzkatheteruntersuchung das primäre Einsatzgebiet der CTCA, so zeigen zahlreiche Publikationen, dass auch eine bessere Planung/Durchführung einer PCI mit den dreidimensionalen Daten des CT möglich ist. Vielversprechende Arbeiten zeigen unter anderem, dass die CTCA genauer den Winkel von Bifurkationen beurteilen kann, als die konventionelle Angiographie [48], dass die Interventionsart (CABG vs. PCI) vorausgesagt werden kann [49–51] und das Stentsizing möglich ist [52, 53]. Die Plaquemorphologie kann die Wahrscheinlichkeit von Komplikationen („no-reflow“) vorhersagen [54, 55] und die Entscheidungsfindung für die Rekanalisation von chronisch verschlossenen Gefäßen erleichtern [56, 57] (Abb. 3).

Funktion/Perfusion/FFR

Das derzeitige etablierte Einsatzgebiet der Herz-CT ist die anatomische Darstellung der Kranzgefäße mit Diagnose bzw. Ausschluss einer KHK. Obwohl die CTCA exzellente Bilder des gesamten Koronarbaumes liefert und mit einer guten diagnostischen Genauigkeit Stenosen quantifizieren kann, müssen anatomisch signifikant erscheinende Stenosen nicht gleich auch funktionell wirksam sein. Dies betrifft vor allem Grenzwertstenosen zwischen 50 und 75 % und gilt ebenso für die invasive Koronarangiographie. Entsprechend den ESC/AHA/ACC-Guidelines sind daher Interventionen (PTCA/CABG) an den Kranzgefäßen nur nach Nachweis einer funktionell wirksamen, Ischämie-produzierenden Stenose gerechtfertigt [58–60].

War bisher die anatomische/morphologische Analyse der Koronarien die Domäne der CTCA, zeigen rezente Studien, dass durch Implementierung der numerischen Strömungsmechanik („computational fluid dynamics“, CFD) verlässliche Aussagen über die funktionelle Wirksamkeit von Koronarstenosen gemacht werden können. Diese Technologie, die schon länger zur Computersimulation von Luft und Flüssigkeitsströmen in der Luft und Raumfahrtindustrie angewandt wird, erlaubt anhand eines 3-dimensionalen im CT akquirierten Koronarbaumes auch die nicht-invasive Evaluierung von Blutflüssen und Drücken bzw. Druckgradienten und somit auch die FFR. Damit entwickelt sich die CT-Technologie zur einzigen Methode, die sowohl mit hoher räumlicher Auflösung den gesamten 3D-anatomischen Koronarbaum darstellen, eine KHK ausschließen/diagnostizieren, und auch die funktionelle Wirksamkeit von Stenosen mit einer diagnostischen Genauigkeit von > 90 % beurteilen kann [61–63] (Abb. 4).

Koronaranomalien

Bei Verdacht auf eine Koronaranomalie stellt das CT die optimale nicht-invasive Bildgebung dar [64–67] (Abb. 5).

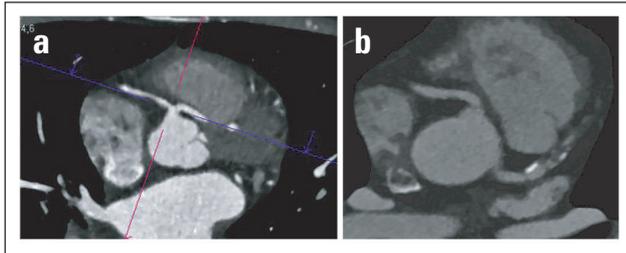


Abbildung 5: (a): LAD entspringt aus dem rechten Koronarsinus und verläuft zwischen Pulmonalis und Aorta (maligner Verlauf); (b): Normaler Ursprung von LAD und RCA (hochgradig stenosierender vorwiegend „weicher“ Plaque in der LAD).

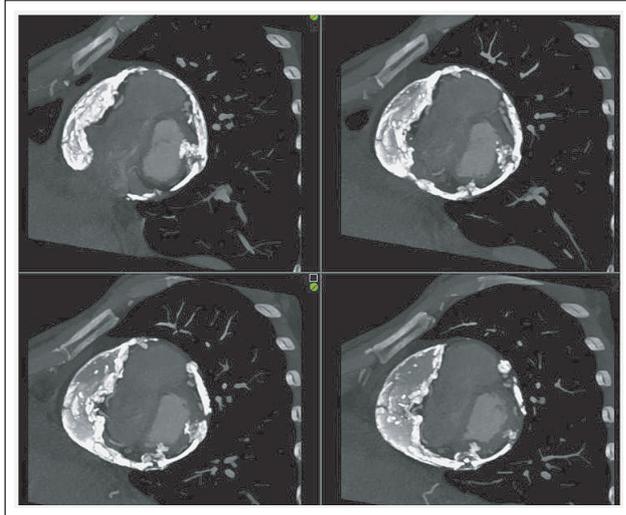


Abbildung 6: Pericarditis constrictiva, inoperable Kalkanker posterolateral und diaphragmal, Resektion über der Wand des RV möglich.

Pericarditis constrictiva

Mittels CT ist die verlässliche Diagnose und Therapieplanung der kalzifizierenden Pericarditis constrictiva möglich [68–71] (Abb. 6).

Limitationen

Die Ergebnisse bisheriger Studien wurden überwiegend mit einem selektionierten Patientengut (niedrige bis mäßige Vortestwahrscheinlichkeit für eine KHK, Sinusrhythmus um 60/min und Betablockereinsatz) durchgeführt. Einschränkungen gibt es für: stark überwichtige Patienten (hohe Strahlenbelastung, schlechtere Auflösung), Tachyarrhythmien (höhere Strahlenbelastung, Bewegungsartefakte), hohe Kalklast (schwierige Stenosequantifizierung), mehrfach an kleine Gefäßen intervenierte/gestentete Patienten (Stent-in-Stent), Patienten mit Niereninsuffizienz (Kontrastmittel-induzierte Verschlechterung der Nierenfunktion), Hyperthyreose (Verstärkung durch jodhaltige Kontrastmittel) [18, 19].

Strahlenbelastung

Eine kritische Diskussion wurde lange Zeit wegen der assoziierten Strahlenbelastung geführt. Die mittlere Strahlenbelastung eines 64er-MSCT, retrospektiv EKG-getriggert, beträgt ca. 15 mSv (prospektiv EKG-getriggert ca. 10 mSv). Damit ist die Strahlenbelastung etwas geringer als bei der nuklearmedizinischen Myokardszintigraphie (SPECT). Moderne CT-Geräte (z. B. DSCT) erlauben heute Untersuchungen mit ca. 5 mSv, im Idealfall – bei Patienten mit einem BMI < 30 kg/m² und einer HF < 70/min – mit < 1 mSv. Trotzdem ist bei der Indika-

tionsstellung für ein CT immer dem Strahlenschutzgesetz („as low as possible“ [ALARA-Prinzip]) Rechnung zu tragen. Betablocker reduzieren überdies die Strahlenbelastung und verbessern die Bildqualität auch bei der letzten CT-Generation, die im Prinzip auch Herzfrequenzen > 70/min zulassen [72–75].

Fakten

Die moderne Herz-CT ermöglicht heute neben der 3-dimensionalen Darstellung des gesamten Koronarbaumes einen sicheren Ausschluss einer KHK sowie die Erkennung und genaue Quantifizierung von Stenosen. Als Nebenprodukt liefert die Untersuchung anatomische und funktionelle Werte der Ventrikel (Volumina, globale und regionale rechts-linksventrikuläre Funktion, welche aber eine Domäne der Echokardiographie und MR-Diagnostik sind), sowie natürlich die exakte Darstellung der großen intrathorakalen Gefäße.

„New opinions often appear first as jokes and fancies, then as blasphemies and treason, then as questions open to discussion, and finally as established truths.“ (George Bernard Shaw).

Visionen

Es ist zu postulieren, dass in naher Zukunft die mittels CT-akquirierten Daten neben der schon jetzt möglichen genauen Pathomorphologie (Syntaxscore, Plaquemorphologie) auch die funktionelle Wirksamkeit (CT-FFR oder Perfusion) der Läsionen automatisch liefern werden. Es werden spezifisch therapeutische Entscheidungen für die optimale Interventionstechnik – z. B. CABG vs. PCI, Rotablationsnotwendigkeit, Bifurkationsstenting, Stentgröße, Länge, etc. – allein von der CT-Untersuchung her abzuleiten und klinische Routine sein.

Interessenkonflikt

Der Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Fragen zum Text

- 1) Der genaueste Ausschluss einer koronaren Herz-erkrankung ist mit welcher Technik möglich?

a) Echokardiographie	c) Herzkatheter
b) Myokardszintigraphie	d) Herz-CT
- 2) Idealerweise sollte das Herz-CT bei folgenden Patienten angewandt werden:
 - a) bekannte KHK
 - b) akuter Herzinfarkt
 - c) Patienten mit niedriger bis mäßiger Vortestwahrscheinlichkeit für eine KHK
- 3) Die genaueste, etablierte, nicht-invasive Methode zum Ausschluss einer funktionell wirksamen KHK ist:

a) Herz-CT	c) Stress-Echo
b) Stress-MR	d) Myokardszintigraphie

Lösung

■ Danksagung

Alle CT-Bilder wurden mit freundlicher Genehmigung von Univ.-Doz. Dr. Peter Kullnig, Diagnostikzentrum Graz für Computertomographie und Magnetresonanztomographie, A-8043 Graz, Mariatrosterstraße 41, zur Verfügung gestellt.

Literatur:

- Patel MR, Peterson ED, Dai D, Brennan JM, Redberg RF et al. Low diagnostic yield of elective coronary angiography. *N Engl J Med* 2010; 362: 886–95.
- Konstantinides S. Clinical practice. Acute pulmonary embolism. *N Engl J Med* 2008; 359: 2804–13.
- Hiratzka LF, Bakris GL, Beckman JA, Bersini RM, Carr VF, et al; American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines; American Association for Thoracic Surgery; American College of Radiology; American Stroke Association; Society of Cardiovascular Anesthesiologists; Society for Cardiovascular Angiography and Interventions; Society of Interventional Radiology; Society of Thoracic Surgeons; Society for Vascular Medicine. 2010 ACCF/AHA/AATS/ACR/ASA/SCA/SCAI/SIR/STS/SVM guidelines for the diagnosis and management of patients with Thoracic Aortic Disease: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines, American Association for Thoracic Surgery, American College of Radiology, American Stroke Association, Society of Cardiovascular Anesthesiologists, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, Society of Interventional Radiology, Society of Thoracic Surgeons, and Society for Vascular Medicine. *Circulation* 2010; 121: e266–e369.
- Miller JM, Rochitte CE, Dewey M, Arbab-Zadeh A, Niinuma H, et al. Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT. *N Engl J Med* 2008; 359: 2324–36.
- Hamon M, Biondi-Zoccai GG, Malagutti P, Agostoni P, Morello R, et al. Diagnostic performance of multislice spiral computed tomography of coronary arteries as compared with conventional invasive coronary angiography: a meta-analysis. *J Am Coll Cardiol* 2006; 48: 1896–910.
- Scheffel H, Alkadhhi H, Plass A, Vachenaue R, Desbiolles L, et al. Accuracy of dual-source CT coronary angiography: First experience in a high pre-test probability population without heart rate control. *Eur Radiol* 2006; 16: 2739–47.
- Park R, Detrano R, Xiang M, Fu P, Ibrahim Y, et al. Combined use of computed tomography coronary calcium scores and C-reactive protein levels in predicting cardiovascular events in nondiabetic individuals. *Circulation* 2002; 106: 2073–7.
- Greenland P, LaBree L, Azen SP, Doherty TM, Detrano RC. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA* 2004; 291: 210–5.
- Arad Y, Goodman KJ, Roth M, Newstein D, Guerci AD. Coronary calcification, coronary disease risk factors, C-reactive protein, and atherosclerotic cardiovascular disease events: the St. Francis Heart Study. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46: 158–65.
- Taylor AJ, Bindeman J, Feuerstein I, Cao F, Brazaitis M, et al. Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: mean three-year outcomes in the Prospective Army Coronary Calcium (PACC) project. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46: 807–14.
- Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, Bild DE, Burke G, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N Engl J Med* 2008; 358: 1336–45.
- Greenland P, Alpert JS, Beller GA, Benjamin EJ, Budoff MJ, et al. 2010 ACCF/AHA guideline for assessment of cardiovascular risk in asymptomatic adults: executive summary: a report of the American College of Cardiology Foundation/ American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol* 2010; 56: 2182–99.
- Erbel R, Möhlenkamp S, Moebus S, Schmermund A, Lehmann N, et al. Coronary risk stratification, discrimination, and reclassification improvement based on quantification of subclinical coronary atherosclerosis: the Heinz Nixdorf Recall study. *J Am Coll Cardiol* 2010; 56: 1397–406.
- Tota-Maharaj R, Blaha MJ, McEvoy JW, Blumenthal RS, Muse ED, et al. Coronary artery calcium for the prediction of mortality in young adults < 45 years old and elderly adults > 75 years old. *Eur Heart J* 2012; 33: 2955–62.
- Mowatt G, Cook JA, Hillis GS, Walker S, Fraser C, et al. 64-slice computed tomography angiography in the diagnosis and assessment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis. *Heart* 2008; 94: 1386–93.
- Sun Z, Lin CH, Davidson R, Dong C, Liao Y. Diagnostic value of 64-slice CT angiography in coronary artery disease: a systematic review. *Eur J Radiol* 2008; 67: 78–84.
- Abdulla J, Abildstrom Z, Gotsche O, Christensen E, Kober L, et al. 64-multislice detector computed tomography coronary angiography as potential alternative to conventional coronary angiography: a systematic review and meta-analysis. *Eur Heart J* 2007; 28: 3042–50.
- Hergan K, Globits S, Loewe C, Gessner M, Artmann A, et al. Austrian Societies of Cardiology and Radiology. Current role of MDCT in the diagnosis of coronary artery disease: A clinical guideline of the Austrian Societies of Cardiology and Radiology. *Rofo* 2011; 118: 964–71.
- Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, Carr JJ, Gerber TC, et al. American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents, ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 expert consensus document on coronary computed tomographic angiography: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation* 2010; 121: 2509–43.
- Voros S, Rinehart S, Qian Z, Joshi P, Vazquez J, et al. Coronary atherosclerosis imaging by coronary CT angiography: current status, correlation with intravascular interrogation and meta-analysis. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011; 4: 537–48.
- Salavati A, Radmanesh F, Heidari K, Dwamena BA, Kelly AM, et al. Dual-source computed tomography angiography for diagnosis and assessment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2012; 6: 78–90.
- Feuchtner G, Loureiro R, Bezerra H, Rocha-Filho JA, Sarwar A, et al. Quantification of coronary stenosis by dual source computed tomography inpatients: A comparative study with intravascular ultrasound and invasive angiography. *Europ J Radiol* 2012; 81: 83–8.
- Motoyama S, Kondo T, Sarai M, Sugiura A, Harigaya H, et al. Multislice computed tomographic characteristics of coronary lesions in acute coronary syndromes. *J Am Coll Cardiol* 2007; 50: 319–26.
- Motoyama S, Sarai M, Harigaya H, Anno H, Inoue K, et al. Computed tomographic angiography characteristics of atherosclerotic plaques subsequently resulting in acute coronary syndrome. *J Am Coll Cardiol* 2009; 54: 49–57.
- Korosoglou G, Lehrke S, Mueller D, Hosch W, Kauczor HU, et al. Determinants of troponin release in patients with stable coronary artery disease: insights from CT angiography characteristics of atherosclerotic plaque. *Heart* 2011; 97: 823–31.
- Ruigómez A, Rodríguez LA, Wallander MA, Johansson S, Jones R. Chest pain in general practice: incidence, comorbidity and mortality. *Fam Pract* 2006; 23: 167–74.
- Erhardt L, Herlitz J, Bossaert L, Halinen M, Keltai M, et al. Task Force on the management of chest pain. *Eur Heart J* 2002; 23: 1153–76.
- Hamm CW, Bassand JP, Agewall S, Bax J, Boersma E, et al. ESC Guidelines for the management of acute coronary syndromes in patients presenting without persistent ST-segment elevation: The Task Force for the management of acute coronary syndromes (ACS) in patients presenting without persistent ST-segment elevation of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J* 2011; 32: 2999–3054.
- Janned'Otée B, Siebert U, Cury R, Jadvah H, Dunn EJ, et al. Coronary computed tomographic angiography (CCTA) is a noninvasive test with a negative predictive value of nearly 100%: A systematic review on diagnostic accuracy of CT-based detection of significant coronary artery disease. *Eur J Radiol* 2008; 65: 449–61.
- White CS, Kuo D, Kelemen M, Jain V, Musk A, et al. Chest pain evaluation in the emergency department: can MDCT provide a comprehensive evaluation? *AJR Am J Roentgenol* 2005; 185: 533–40.
- Johnson TR, Nikolaou K, Becker A, Leber AW, Rist C, et al. Dual-source CT for chest pain assessment. *Eur Radiol* 2008; 18: 773–80.
- Maffei E, Seitun S, Martini C, Palumbo A, Tarantini G, et al. CT coronary angiography and exercise ECG in a population with chest pain and low-to-intermediate pre-test likelihood of coronary artery disease. *Heart* 2010; 96: 1973–9.
- Schlett CL, Banerji D, Siegel E, Bamberg F, Lehman SJ, et al. Prognostic value of CT angiography for major adverse cardiac events in patients with acute chest pain from the emergency department. 2-Year outcomes of the ROMICAT Trial. *J Am Coll Cardiol* 2011; 4: 481–91.
- Litt HL, Gatsonis C, Snyder B, Singh H, Miller CD, et al. CT Angiography for safe discharge of patients with possible acute coronary syndromes. *N Engl J Med* 2012; 366: 1393–403.
- Cho I, Shim J, Chang HJ, Sung JM, Hong Y, et al. Prognostic value of multidetector coronary computed tomography angiography in relation to exercise electrocardiogram in patients with suspected coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2012; 60: 2205–15.
- Chinnaiyan KM, Raff GL, Goraya T, Ananthasubramanian K, Gallagher MJ, et al. Coronary computed tomography angiography after stress testing results from a multicenter, statewide registry, ACIC (Advanced Cardiovascular Imaging Consortium). *J Am Coll Cardiol* 2012; 59: 688–95.
- Tandon V, Hall D, Yam Y, Al-Shehri H, Chen L, et al. Rates of downstream invasive coronary angiography and revascularization: computed tomographic coronary angiography vs. Tc-99m single photon emission computed tomography. *Eur Heart J* 2012; 33: 776–82.
- Patel N, Pal RS, Flores F, Budoff M. Utility of cardiac computed tomography angiography to exclude clinically significant obstructive coronary artery disease in patients after myocardial perfusion imaging. *Am J Cardiol* 2012; 109: 165–8.
- Paech DC, Weston AR. A systematic review of the clinical effectiveness of 64-slice or higher computed tomography angiography as an alternative to invasive coronary angiography in the investigation of suspected coronary artery disease. *BMC Cardiovascular Disorders* 2011; 11: 32.
- Catalán P, Leta R, Hidalgo A, Montiel J, Alomar X, et al. Ruling out coronary artery disease with noninvasive coronary multidetector CT angiography before noncoronary cardiovascular surgery. *Radiology* 2011; 258: 426–34.
- Jakamy R, Barthélémy O, Le Feuvre C, Berman E, Boutekadjir R, et al. Accuracy of multislice computed tomography in the preoperative assessment of coronary disease in patients scheduled for heart valve surgery. *Arch Cardiovasc Dis* 2012; 105: 424–31.
- Meyer TS, Martini S, Hadamitzky M, Will A, Kastrati A, et al. Improved non-invasive assessment of coronary artery bypass grafts with 64-slice computed tomographic angiography in an unselected patient population. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 946–50.
- Rixe J, Achenbach S, Ropers D, Baum U, Kuettnner A, et al. Assessment of coronary artery stent restenosis by 64-slice multi-detector computed tomography. *Eur Heart J* 2006; 27: 2567–72.
- Carlos AG, Cademartiri F, Nico R, et al. Multislice spiral computed tomography for the evaluation of stent patency after left main coronary artery stenting: a comparison with conventional coronary angiography and intravascular ultrasound. *Circulation* 2006; 114: 645–53.
- Pugliese F, Weustink A, Van Mieghem C, Albergina F, Otsuka M, et al. Dual-source coronary computed tomography angiography for detecting in-stent restenosis. *Heart* 2008; 94: 848–54.
- Oncel D, Oncel G, Tastan A, Tamci B. Evaluation of coronary stent patency and in-stent restenosis with dualsource CT coronary angiography without heart rate control. *AJR Am J Roentgenol* 2008; 191: 56–63.
- Sun Z, Almutairi AMD. Diagnostic accuracy of 64 multislice CT angiography in the assessment of coronary in-stent restenosis: a meta-analysis. *Eur J Radiol* 2010; 73: 266–73.
- Pflöderer T, Ludwig J, Ropers D, Daniel WG, Achenbach S. Measurement of coronary artery bifurcation angles by multidetector computed tomography. *Invest Radiol* 2006; 41: 793–8.
- Shaw LJ, Hausleiter J, Achenbach S, Al-Mallah M, Berman DS, et al. CONFIRM Registry Investigators. Coronary computed tomographic angiography as a gatekeeper to invasive diagnostic and surgical procedures: results from the multicenter CONFIRM (Coronary CT Angiography Evaluation for Clinical Outcomes: An International Multicenter) Registry. *J Am Coll Cardiol* 2012; 60: 2103–14.
- Moscariello A, Vliegenthart R, Schoepf UJ, Nance JW Jr, Zwerner PL, et al. Coronary CT angiography versus conventional cardiac angiography for therapeutic decision making in patients with high likelihood of coronary artery disease. *Radiology* 2012; 265: 385–92.
- Stähli BE, Bonassin F, Goetti R, Küest SM, Frank M, et al. Coronary computed tomography angiography indicates complexity of percutaneous coronary interventions. *J Invas Cardiol* 2012; 24: 196–201.

53. de Silva R, Mussap CJ, Hecht HS. Stent sizing by coronary computed tomographic angiography: comparison with conventional coronary angiography in an experienced setting. *Catheter Cardiovasc Interv* 2011; 78: 755–63.
54. Peregowski J, Kepka C, Kruk M, Mintz GS, Kalinczuk L, et al. Comparison of usefulness of percutaneous coronary intervention guided by angiography plus computed tomography versus angiography alone using intravascular ultrasound end points. *Am J Cardiol* 2011; 108: 1728–34.
55. Uetani T, Amano T, Kunimura A, Kumagai S, Ando H, et al. The association between plaque characterization by CT angiography and post-procedural myocardial infarction in patients with elective stent implantation. *J Am Coll Cardiol* 2010; 3: 19–28.
56. Watabe H, Sato A, Akiyama D, Kakefuda Y, Adachi T, et al. Impact of coronary plaque composition on cardiac troponin elevation after percutaneous coronary intervention in stable angina pectoris: a computed tomography analysis. *J Am Coll Cardiol* 2012; 59: 1881–8.
57. García-García HM, van Mieghem CA, Gonzalo N, Meijboom WB, Weustink AC, et al. Computed tomography in total coronary occlusions (CTO registry): radiation exposure and predictors of successful percutaneous intervention. *Euro Intervention* 2009; 4: 607–16.
58. Takimura H, Muramatsu T, Tsukahara R. CT coronary angiography-guided percutaneous coronary intervention for chronic total occlusion combined with retrograde approach. *J Invasive Cardiol* 2012; 24: E5–E9.
59. Kern MJ, Lerman A, Bech JW, De Bruyne B, Eeckhout E, et al. Physiological assessment of coronary artery disease in the cardiac catheterization laboratory: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2006; 114: 1321–41.
60. Tobis J, Azarbal B, Slavin L. Assessment of intermediate severity coronary lesions in the catheterization laboratory. *J Am Coll Cardiol* 2007; 49: 839–48.
61. Silber S, Albertsson P, Aviles FF, Camici PG, Colombo A, et al. Guidelines for percutaneous coronary interventions: the task force for percutaneous coronary interventions of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J* 2005; 26: 804–47.
62. Koo BK, Erglis A, Doh JH, Daniels DV, Jegere S, et al. Diagnosis of ischemia-causing coronary stenoses by noninvasive fractional flow reserve computed from coronary computed tomographic angiograms. Results from the prospective multicenter DISCOVER-FLOW (Diagnosis of Ischemia-Causing Stenoses Obtained Via Noninvasive Fractional Flow Reserve) study. *J Am Coll Cardiol* 2011; 58: 1989–97.
63. Min JK, Leipsic J, Pencina MJ, Berman DS, Koo BK, et al. Diagnostic accuracy of fractional flow reserve from anatomic CT angiography. *JAMA* 2012; 308: 1237–45.
64. Min JK, Koo BK, Erglis A, Doh JH, Daniels DV, et al. Usefulness of noninvasive fractional flow reserve computed from coronary computed tomographic angiograms for intermediate stenoses confirmed by quantitative coronary angiography. *Am J Cardiol* 2012; 110: 971–6.
65. Angelini P, Velasco JA, Flamm S. Coronary anomalies: incidence, pathophysiology, and clinical relevance. *Circulation* 2002; 105: 2449–54.
66. Kacmaz F, Ozbulbul NI, Alyan O, Maden O, Demir AD, et al. Imaging of coronary artery anomalies: the role of multidetector computed tomography. *Coron Artery Dis* 2008; 19: 203–9.
67. Shi H, Aschoff AJ, Brambs HJ, Hoffmann MH. Multislice CT imaging of anomalous coronary arteries. *Eur Radiol* 2004; 14: 2172–81.
68. Duran C, Kantarci M, DururSubasi I, Gulbaran M, Sevimli S, et al. Remarkable anatomic anomalies of coronary arteries and their clinical importance: a multidetector computed tomography angiographic study. *J Comput Assist Tomogr* 2006; 30: 939–48.
69. Suh SY, Rha SW, Kim JW, Park CG, Seo HS, et al. The usefulness of three-dimensional multidetector computed tomography to delineate pericardial calcification in constrictive pericarditis. *Int J Cardiol* 2006; 113: 414–6.
70. Hoffmann MH, Shi H, Lieberknecht M, Aschoff AJ, Haerer W, et al. Images in cardiovascular medicine. Sixteen-slice computed tomography and magnetic resonance imaging of calcified pericardium. *Circulation* 2003; 108: e48–e49.
71. Khan NU, Yonan N. Does preoperative computed tomography reduce the risks associated with re-do cardiac surgery? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2009; 9: 119–23.
72. Schwefer M, Aschenbach R, Heidemann J, Mey C, Lapp H. Constrictive pericarditis, still a diagnostic challenge: comprehensive review of clinical management. *Eur J Cardiothorac Surg* 2009; 36: 502–10.
73. Fazel R, Krumholz HM, Wang Y, Ross JS, Chen J, et al. Exposure to Low-Dose Ionizing Radiation from Medical Imaging Procedures. *N Engl J Med* 2009; 361: 849–57.
74. Shuman WP, Branch KR, May JM, Mitsumori LM, Lockhart DW, et al. Prospective versus retrospective ECG gating for 64-detector CT of the coronary arteries: comparison of image quality and patient radiation dose. *Radiology* 2008; 248: 431–7.
75. Achenbach S, Marwan M, Ropers D, Schepis T, Pflederer T, et al. Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition. *Eur Heart J* 2010; 31: 340–6.
76. Leil M, Marvan M, Schepis T, Pflederer T, Flohr T, et al. Prospectively ECG-triggered highpitch spiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT: technique and initial experience. *Eur Radiol* 2009; 19: 2576–83.

Richtige Lösungen: 1d; 2c; 3b

← Zurück

Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere Rubrik

[Medizintechnik-Produkte](#)



Neues CRTD Implantat
Intica 7 HF-T QP von Biotronik



Artis pheno
Siemens Healthcare Diagnostics GmbH



Philips Azurion:
Innovative Bildgebungslösung

Aspirator 3
Labotect GmbH



InControl 1050
Labotect GmbH

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

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

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

[Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

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

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)