

Kardiale CT beim akuten Koronarsyndrom

Cardiac computed tomography in patients with acute coronary syndrome

C. L. Schlett, H. Alkadhi, F. Bamberg

Übersicht

Einleitung	191
Kardiale CT	192
Akutes Koronarsyndrom	197
Kardiale CT beim akuten Koronarsyndrom	198
Zusammenfassung	202

Zusammenfassung

Die kardiale CT wird aufgrund des rasanten technischen Fortschritts der letzten Jahre zunehmend in klinische Algorithmen integriert. Dabei gilt aufgrund der bestehenden wissenschaftlichen Evidenz der Einsatz der kardialen CT bei Patienten mit Verdacht auf ein akutes Koronarsyndrom als besonders vielversprechend. Die Durchführung der kardialen CT erfordert spezifische Kenntnisse über die Untersuchungsprotokolle, adäquate Patientenvorbereitung und die diagnostischen Befunde, welche auch nichtkardiale Nebenbefunde umfasst. Der vorliegende Artikel gibt einen Überblick über die spezifischen Aspekte zum Einsatz der kardialen CT bei Patienten mit Verdacht auf ein akutes Koronarsyndrom.



Als Abonnent der Radiologie up2date und Nutzer von Thieme-connect finden Sie einen **Podcast** unter www.thieme-connect.de/products

Einleitung

Die kardiale CT konnte sich in den letzten Jahren zunehmend für den klinischen Einsatz etablieren [1]. Grundsätzlich handelt es sich um ein nicht invasives CT-Verfahren, das unter der Verwendung jodhaltigen Kontrastmittels und elektrokardiografischer (EKG) Synchronisation einen hochaufgelösten Volumendatensatz des Herzens liefert [2]. Insbesondere steht hierbei die Abklärung der Koronargefäße im Vordergrund, jedoch werden auch wesentliche Informationen über die Ventrikel, Atria, Herzklappen und das Myokard gewonnen.

Wurde die kardiale CT in den frühen Jahren vornehmlich im Rahmen wissenschaftlicher Studien eingesetzt, konnte sie sich in der letzten Zeit für einen klinischen Einsatz qualifizieren. Dies gilt nicht nur für Patienten mit entsprechendem kardiovaskulärem Risikoprofil, sondern mittlerweile auch für Patienten mit akutem Thoraxschmerz oder Verdacht auf ein akutes Koronar-

syndrom (AKS) [3]. Insbesondere für diese Indikation konnten in den letzten Jahren groß angelegte, randomisierte Studien einen Mehrwert in der Patientenversorgung zeigen. Diese Studienergebnisse ergeben aktuell den notwendigen Evidenzgrad, mit dem ein neuartiges bildgebendes Verfahren in klinische Abläufe begründet integriert werden kann. Dies findet sich auch in aktuellen nationalen Leitlinien wieder [4].

Die Bildakquisition bei der kardialen CT dauert nur wenige Sekunden. Dennoch muss die adäquate Durchführung und Befundung einer kardialen CT, insbesondere beim Patienten mit Verdacht auf ein AKS, gründlich vorbereitet werden und erfordert spezialisierte Kenntnisse. Außerdem stehen viele Untersuchungsprotokolle zur Verfügung, die sinnvoll und an die individuellen Gegebenheiten angepasst eingesetzt werden müssen. Auch die Auswertung der erhobenen Daten und potenziellen Befunde setzt Kenntnisse über die zu erwartenden Pathologien der Koronargefäße sowie Zufallsbefunde voraus.

In diesem Artikel werden die Grundlagen für den Einsatz der kardialen CT beim AKS zusammenfassend dargestellt. Ein besonderes Augenmerk wird dabei auf die Patientenselektion, Untersuchungsvorbereitung, Dosisaspekte und Befunde gelegt.

Kardiale CT

Technische Entwicklung

■ Bildakquisition

Die technischen Fortschritte der CT sind in den letzten Jahren nicht zuletzt vom Interesse an einer robusten kardialen Bildgebung getrieben worden. Durch die anatomischen (kleine Strukturen) und physiologischen Gegebenheiten (ständige und unregelmäßige Bewegung) bedarf die Bildgebung des Herzens spezieller Anforderungen hinsichtlich der räumlichen und zeitlichen Auflösung der CT.

Scan-Coverage. Dafür entwickelten die Hersteller neue CT-Scanner mit immer breiteren Detektoren durch Zunahme der Detektorzeilen, was zu einer größeren Scanabdeckung (Coverage) führte. Dies gipfelte vorläufig im Jahr 2012 mit der Einführung eines 640-Zeilen-Detektors (CT Aquilion One Vision Edition, Toshiba Medical Systems), der eine Scanbreite von 16 cm aufweist. Während diese Entwicklung in der Vergangen-

heit fast linear verlief, hat sie sich aktuell verlangsamt, nicht zuletzt, weil die zunehmenden Zentripetalkräfte durch die vergrößerten Detektoren technisch schwer beherrschbar werden.

Dual-Source-Technologie. Im Jahr 2005 wurde als parallele Entwicklung die Dual-Source-Technologie (Siemens Healthcare) eingeführt. Dabei stehen 2 Röntgenröhren-Detektor-Einheiten orthogonal zueinander und erlauben dadurch die simultane Bildakquisition aus 2 Richtungen. Hiermit kann entweder die zeitliche Auflösung im Verhältnis zu Systemen mit nur einer Röntgenröhre-Detektor-Einheit verdoppelt werden, oder – wenn die beiden Röntgenröhren mit unterschiedlicher Röhrenspannung arbeiten – eine Bildakquisition mit Dual-Energy erfolgen. Darüber hinaus erlaubt die Röhren-Detektor-Geometrie bei Dual-Source-Systemen einen sehr schnellen Tischvorschub in der z-Achse (sog. High-Pitch-Modus), bei der die Akquisitionszeit erheblich reduziert werden kann.

Detektoren. Gleichzeitig wurde das Material der Detektoren weiterentwickelt. GE Healthcare stellte 2007 einen sog. „Gemstone Clarity Detector“ vor, der eine verbesserte Auflösung bis 0,23 mm („in-plane“) verspricht. Im Jahr 2011 wurde der Stellar Infinity Detector (Siemens Healthcare) eingeführt, der ein verbessertes Signal-zu-Rausch-Verhältnis durch reduziertes Cross-Talk zwischen den Detektorelementen und eine verbesserte Auflösung bis 0,24 mm („in-plane“) liefern soll.

Röntgenröhre. Fortschritte gab es auch bei den Röntgenröhren. Durch gezieltes Ansteuern der Röhre kann nicht nur der Röntgenstrom, sondern auch die Röntgenspannung den individuellen und regionalen Gegebenheiten des Patienten sowie der klinischen Indikation angepasst werden. Mit der Vorstellung der Vectron Tube von Siemens Healthcare im Jahr 2013 wurde die wählbare Röntgenspannung auf 70–150 kVp (mit 10-kVp-Intervallen) erweitert.

Die wesentlichen Kenngrößen der aktuellen CT-Scanner der 4 größten Hersteller sind in Tab. 1 beispielhaft zusammengefasst.

■ Post-Processing

Parallel zur Scanner-Hardware wurde auch die Datennachverarbeitung, das sog. „Post-Processing“, wesentlich weiterentwickelt. Auch wenn iterative Rekonstruktionsalgorithmen schon seit den 80er-Jahren bekannt sind, ist ihr klinischer Einsatz erst in den letz-

Tabelle 1

Technische Details der modernsten CT-Scanner der 4 größten Hersteller; GOS = Gadolinium Oxysulfide (alle Angaben herstellerbasiert).

Detail	GE HD750	Philips iCT	Siemens SOMATOM Force	Toshiba one NEXT Gen.
Röntgenröhren	1	1	2	1
Detektoren	64	256	384 (2×192)	640
Detektormaterial	Gemstone	GOS	Stellar Infinity	GOS
Röntgenröhrenspannung (kVp, Spanne)	80–140	80–140	70–150	80–140
zeitliche Auflösung (ms)	175	135	66	137,5
räumliche Auflösung (mm, „in-plane“)	0,23	0,3	0,24	0,3
High-Pitch-Protokolle	nein	nein	ja	nein

ten Jahren durch schnellere Computertechnik realistisch geworden.

Traditionell basiert die Bildrekonstruktion auf der gefilterten Rückprojektion der akquirierten Daten. Iterative Verfahren verwenden entweder die bereits durch gefilterte Rückprojektion erstellten Bilder oder die akquirierten Rohdaten. Dabei werden gemessene (z. B. Rauschstatistik) oder modellierte Parameter im Bild- und im Rohdatenraum eingebracht und damit die Berechnung der Bilder optimiert bzw. korrigiert [5]. Die mit iterativer Rekonstruktion gewonnenen Bilder können allerdings „artifiziel“ wirken, sodass eine prozentuale Überblendung mit traditionell rekonstruierten Bildern im klinischen Alltag im Regelfall verwendet wird.

Die Hauptvorteile der iterativen Rekonstruktionsalgorithmen sind das geringere Bildrauschen und die bessere Bildqualität [5]. Dies kann dazu verwendet werden, um den/die Röhrenstrom/-spannung und die daraus folgende Strahlendosis zu reduzieren, ohne die diagnostische Bildqualität herabzusetzen. Zusätzliche Vorteile der iterativen Rekonstruktionsalgorithmen wurden beschrieben wie die bessere Anwendbarkeit (semi-)automatischer Auswertesoftware und geringere „Blooming“-Artefakte von koronaren Kalzifikationen [6].

■ Aspekte der Strahlendosis

In der Bevölkerung, aber auch der Fachwelt, hat über die letzten Jahre das Bewusstsein über die möglichen Folgen der applizierten Strahlendosis in der Diagnostik mit ionisierenden Strahlen zugenommen. Dies trifft auch für die kardiale CT zu [7], bei der am Anfang der Entwicklung Effektivdosen von bis zu 20–25 mSv verwendet wurden.

Protokolloptimierung. Entsprechend groß waren über die letzten Jahre die Anstrengungen aller Beteiligten, Entwicklungen anzustoßen, die die applizierte Strahlendosis bei einer kardialen CT mit anderen diagnostischen Verfahren vergleichbar machen [8]. Dabei steht neben technologischen Entwicklungen (Abb. 1) auch die Weiterentwicklung der Scanprotokolle im Mittelpunkt. Wie unten detailliert ausgeführt, geht die traditionell verwendete retrospektive EKG-Triggerung mit einer Exposition von ca. 10–20 mSv einher und kann durch Verwendung einer Röhrenstrommodulation auf Dosiswerte um ca. 5–8 mSv gesenkt werden [9]. Weitere wesentliche Reduktionen der Strahlenexposition sind mit der prospektiven EKG-Triggerung

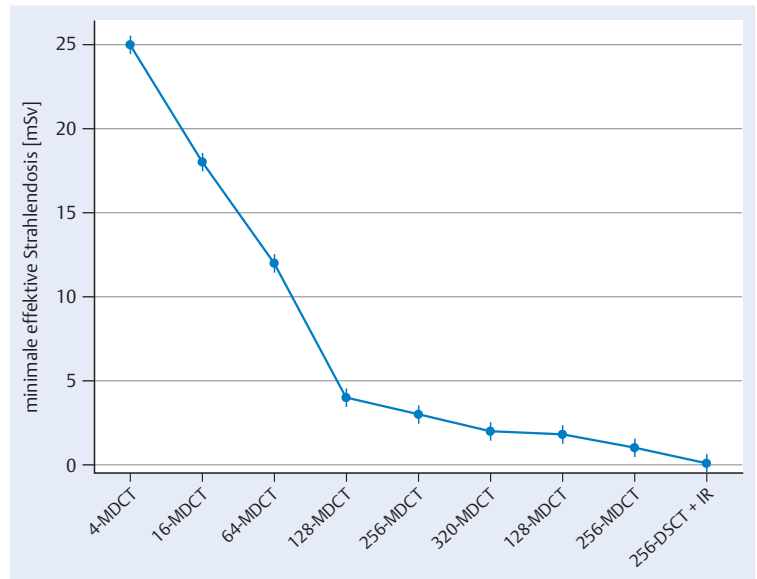


Abb. 1 Zusammenhang zwischen Strahlendosis und technologischer Entwicklung. Die Grafik zeigt schematisch die minimal erreichte effektive Strahlendosis für unterschiedliche CT-Scanner-Generationen (modif. nach [9]); MDCT = Multidetektor-CT, DSCT = Dual-Source-CT, IR = iterative Bildrekonstruktionsalgorithmen.

(ca. 2–4 mSv [10]) und den sog. High-Pitch-Akquisitionen verbunden (ca. 1 mSv [11]).

Iterative Bildrekonstruktion. Unabhängig von der Protokollwahl hinsichtlich prospektiver vs. retrospektiver Triggerung hat die Einführung von iterativen Rekonstruktionsalgorithmen zu einer weiteren Strahlenreduktion beigetragen. Iterative Bildrekonstruktion in Echtzeit ist von allen großen Herstellern verfügbar und wird bereits in vielen Kliniken routinemäßig eingesetzt. Diese erlaubt es, die Strahlendosis um bis zu 40–50% zu senken, da Röhrenspannung und/oder -strom verringert werden können, ohne die diagnostische Wertigkeit der Untersuchung durch vermehrtes Bildrauschen zu gefährden.

Perspektive. Die durchschnittliche angegebene effektive Strahlendosis für CTA an den internationalen Referenzzentren beträgt z. Zt. 2–5 mSv [9, 12]. Obwohl auch Ultra-Low-Dose-Protokolle (u. a. High-Pitch-Akquisition mit 80 kVp und 50 mAs plus iterative Bildrekonstruktion) zur Verfügung stehen, die eine Bildakquisition mit einer effektiven Strahlendosis von weniger als 0,1 mSv erlauben, sind diese jedoch aktuell noch limitiert auf eine umschriebene Patientenpopulation an spezialisierten Zentren (u. a. Körpergewicht < 100 kg, Herzfrequenz ≤ 60/min). Trotzdem zeigt dies die Perspektive auf, was aller Voraussicht nach in naher Zukunft erzielt werden kann.

Bei der erfolgreichen Reduktion der applizierten Strahlendosis spielt auch der offene und selbstkritische Umgang mit dem Thema eine wichtige Rolle. Mit relativ einfachen Maßnahmen wie z. B. wöchentlichen, semi-automatisierten Strahlendosisberichten können Ausreißer hinsichtlich applizierter effektiver Strahlendosis (≥ 10 mSv) um 10% gesenkt werden [12]. Neben den technischen Voraussetzungen sind für eine optimierte Strahlendosis ein gut ausgebildetes kardiales CT-Team, eine gründliche Vorbereitung des Patienten und die Abstimmung der Scanprotokolle auf die individuellen Gegebenheiten entscheidend.

Technische Voraussetzungen und Protokollbeispiele

Für die kardiale CT eignen sich im Wesentlichen alle neueren Scannergenerationen, die gemäß den aktuellen Leitlinien mindestens 64 Zeilen aufweisen [1]. Mit zunehmender Detektorzeilenzahl und der neueren CT-Generation ist eine deutlich robustere Bildqualität auch bei höheren Herzfrequenzen und niedrigerer Dosis möglich [13].

■ Patientenvorbereitung

Aufklärung, Information. Zur adäquaten Untersuchungsvorbereitung zählt eine standardisierte Aufklärung, wie sie für jede CT-basierte Untersuchung unter Verwendung jodhaltigen Kontrastmittels üblich ist. Darüber hinaus gilt es, den Patienten über das Atemkommando bzw. Luftanhalten zu informieren. In der Praxis hat es sich bewährt, das Atemkommando bei auf dem CT-Tisch liegenden Patienten zu üben. Der Patient sollte darauf hingewiesen werden, dass er nicht

plötzlich ausatmet, wenn er die Luft nicht mehr anhalten kann.

Einflussfaktoren. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften der Patienten ergeben sich mehrere Protokollmöglichkeiten. Dabei ist vor allem die aktuelle Herzfrequenz wichtig, weil das Protokoll in erster Linie diesbezüglich angepasst werden muss. Darüber hinaus sollten Faktoren wie das Körpergewicht bzw. der Body Mass Index (BMI) und die Compliance des Patienten berücksichtigt werden. Endgültig wird das Protokoll i. d. R. erst festgelegt, wenn der Patient aufgeklärt, ein i. v. Zugang gelegt, der Patient auf dem CT-Tisch gelagert und die EKG-Elektroden angebracht wurden.

Betablocker. Nach Analyse des EKG-Signals wird in Abhängigkeit vom CT-Scanner ein β_1 -selektiver Betablocker i. v. zur Herzfrequenzreduktion und -stabilisierung appliziert. Dabei handelt es sich meist um Metoprolol, das in 5-mg-Intervallen und kurzer Pause bis maximal 20 mg verabreicht wird (wenn keine Kontraindikationen vorliegen). Alternativ ist auch 100 mg Atenolol oral ca. 1 Stunde vor der Untersuchung möglich. Verschiedene Zentren mit Dual-Source-CT-Scannern erachten durch die verbesserte zeitliche Auflösung die Vorbereitung des Patienten mit Betablockern als nicht mehr notwendig.

Glyzeroltrinitrat. Um die Bildqualität zu verbessern, werden zudem direkt vor der Untersuchung 2 Hübe Glyzeroltrinitrat verabreicht, falls keine Kontraindikationen vorliegen. Im Anschluss sollte man sich für eine Protokollvariante entscheiden.

■ Protokolle

Aktuell werden im Wesentlichen 3 Akquisitionsprotokolle unterschieden, die zusätzlich durch eine Anpassung der Röhrenspannung in Hinblick auf die Strahlendosis optimiert werden können:

Prospektive Triggerung. Die prospektiv EKG-getriggerte Akquisitionsform wurde bereits in den früheren Zeiten des Kalziumscreenings mittels CT verwendet. Grundlage ist, dass die dosisrelevante Röhrenspannung nur in der diastolischen Herzphase aktiviert und während der systolischen Herzphase deaktiviert wird (Abb. 2a). Dies hat eine deutliche Dosisreduktion gegenüber der traditionellen retrospektiven Triggerung zur Folge [14]. Nachteil dieser Akquisition ist die Abhängigkeit von der Herzfrequenz, die relativ regelmäßig sein sollte, um eine gute Bildqualität und damit Beurteilbarkeit der Koronargefäße zu gewährleisten. Zudem eignet sich die prospektive Triggerung nicht für

Tipps und Tricks

Patientenvorbereitung

- Ein Gespräch sollte vor Beginn der Untersuchung die Details, das Atemanhalten und die zu erwartende Kontrastmittelapplikation erklären.
- Die Atemkommandos sollten auf dem CT-Tisch mit liegenden EKG-Elektroden simuliert werden. So kann die erwartete Herzfrequenz während der Untersuchung überprüft werden.
- In Abhängigkeit vom CT-Gerät und der Herzfrequenz kann bei Abwesenheit von Kontraindikationen langsam bis zu 4×5 mg Metoprolol unter EKG-Kontrolle appliziert werden. Nach jeder Injektion ist kurz zu pausieren und ein Atemkommando zu üben.
- Direkt vor der Untersuchung werden bei Abwesenheit von Kontraindikationen 2 Hübe Glyzeroltrinitrat s. l. verabreicht.

sehr hohe Herzfrequenzen (> 100/min). Hier kann eine vorherige Betablockergabe die Herzfrequenz senken, sodass die prospektive Akquisition dennoch angewendet werden kann.

Prospektive Triggerung, High-Pitch-Protokolle. Diese Sonderform der prospektiven Triggerung ist nur mit Dual-Source-CT-Scannern ab der 2. Generation anwendbar und erlaubt eine schnelle und dosissparende Bildakquisition. Der Tischvorschub (bzw. Pitch) ist dabei sehr hoch, wobei die 2. Röhre die Lücken der Datenakquisition der 1. Röhre schließt. Dieser Scanmodus ist mit umso größerer Geschwindigkeit möglich, je breiter der Detektor ist. Die Röhren-Detektoren-Konfiguration des Dual-Source-CT-Scanners der 3. Generation erlaubt einen maximalen Tischvorschub von 737 mm/s. Mit dieser Technik werden das unnötige sog. Daten-Oversampling und die Strahlenexposition minimiert (Abb. 2b) [15]. Die Akquisition wird zeitlich so geplant, dass das kurze Akquisitionsfenster in der Diastole liegt und hier die Koronargefäße artefaktfrei abgebildet werden können. Damit dieses diastolische Fenster ausreichend weit ist, muss die Herzfrequenz unter 60/s (2. Generation Dual-Source-CT-Scanner) bzw. unter 70/s (3. Generation Dual-Source-CT-Scanner) liegen. Beim High-Pitch-Protokoll stehen Bilder in zusätzlichen Phasen des Herzzyklus nicht zur Verfügung.

Retrospektive Triggerung. Der retrospektive Akquisitionsmodus wurde in den Anfangsjahren der CT-Koronarangiografie nahezu ausschließlich verwendet, weil u. a. Bildrekonstruktionen aus mehreren Herzzyklen notwendig waren, um Bewegungsartefakte zu minimieren. Bei dieser Akquisitionsform wird kontinuierlich Röntgenstrahlung appliziert und der Tisch langsam bewegt (Pitch: 0,2–0,4) (Abb. 2c). Entsprechend steht nach der Akquisition der vollständig EKG-synchronisierte Datensatz zur Nachverarbeitung zur Verfügung. Dadurch können Rekonstruktionen von allen Herzphasen (systolisch wie auch diastolisch) bzw. frei editierte, manuelle Rekonstruktionen, bei denen der Zeitpunkt über die Rekonstruktion variiert werden kann, angefertigt werden. Außerdem ist es möglich, sog. funktionelle Rekonstruktionen über den gesamten Herzzyklus anzufertigen, um so auch globale und regionale linksventrikuläre Pumpfunktionsstörungen zu beurteilen [16]. Aktuell wird diese Akquisition nur noch bei stark arrhythmischen Patienten mit sehr hoher Herzfrequenz angewendet, oder wenn die explizite Indikation zur funktionellen Analyse über den gesamten Herzzyklus besteht.

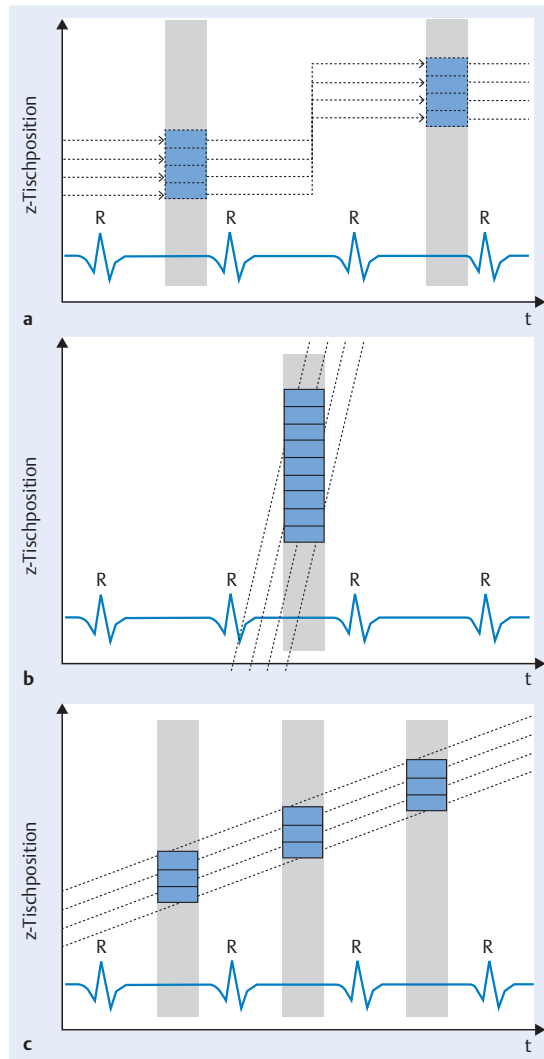


Abb. 2 EKG-getriggerte Akquisitionsformen. **a** Prospektive EKG-Triggerung. **b** Prospektive EKG-Triggerung, High-Pitch-Protokoll. **c** Retrospektive EKG-Triggerung.

Checkliste

Dosisreduktion

Nach Auswahl des jeweiligen Scan-Protokolls sollten folgende Möglichkeiten zur Dosisreduktion bedacht werden:

- Generell sollte die Indikation zur kardialen CT streng gestellt und bei der Planung das abgedeckte Volumen auf ein Minimum begrenzt werden.
- Retrospektives Gating: Mittels sog. Dosismodulation kann in der systolischen Herzphase der Röhrenstrom reduziert und somit die Dosis reduziert werden. Außerdem hat sich der Einsatz einer Röhrenspannung von 100 kVp bei Patienten mit einem BMI < 25 kg/m² bewährt.
- Prospektives Triggern: Das Akquisitionsfenster der prospektiven Triggerung sollte maximal reduziert werden; falls etwas Spielraum für eine potenzielle Nachverarbeitung erreicht werden soll (sog. „Padding“), ist dies mit einer Dosiszunahme verbunden. Auch hier hat sich der Einsatz einer Röhrenspannung von 100 kVp bei Patienten mit einem BMI < 25 kg/m² bewährt.
- High-Pitch: Eine Reduktionsmöglichkeit der Strahlendosis besteht in der Verwendung von 100 kVp Röhrenspannung bei Patienten mit einem BMI < 25 kg/m².

Checkliste

Kontrastmittelprotokoll

- Die Verwendung von hochkonzentriertem, nicht ionischem Kontrastmittel ist Standard in der kardialen CT.
- Dabei ist die sog. „Iodine-Delivery-Rate“, also die intraluminare Jodkonzentration, der relevante Parameter, der optimiert werden sollte. Dies kann über eine hohe Konzentration des Kontrastmittels oder über eine hohe Injektionsrate erreicht werden.
- Das Timing des Kontrastmittels ist entscheidend. Hierzu kann entweder eine automatische Bolustriggerung oder ein Testbolus verwendet werden. Der Testbolus ist mit einer zusätzlichen Gabe von 10–20 ml Kontrastmittel verbunden.

Kontrastmittelapplikation

Die Applikation des Kontrastmittels in der arteriellen Phase wird meist triphasisch durchgeführt. Dabei muss bedacht werden, dass während der gesamten Scandauer ein ausreichender Kontrastmittelbolus im zu untersuchenden Gefäßabschnitt vorhanden ist. In der Praxis wird routinemäßig ca. 80 ml nicht ionisches, hochkonzentriertes Kontrastmittel (z. B. 370 mg Jod/ml) mit einer Injektionsrate von 5–6 ml/s (je nach Körpergewicht bzw. BMI) verwendet, gefolgt von einer Mischphase mit 20% Kontrastmittel und 80% NaCl sowie einem kurzen (ca. 30–50 ml) NaCl-Flush mit identischer Injektionsrate.

Relevante Befunde: Plaque und Stenose

■ Befundungsstrategie

Zuerst beurteilt man die Bildqualität im Hinblick auf die Kontrastierung des linken Ventrikels und prüft, ob Bewegungsartefakte vorliegen. Dann befundet man die Koronargefäße, wobei sich eine systematische Herangehensweise analog zu vielen anderen radiologischen Befunden bewährt hat. Ein möglicher Algorithmus beginnt mit dem linken Hauptstamm, analysiert dann den R. interventricularis anterior der A. coronaria sinistra („left anterior descending coronary artery“, LAD), anschließend den R. circumflexus („left circumflex artery“, LCX) und schließlich die A. coronaria dextra („right coronary artery“, RCA). Dies beinhaltet die Beurteilung hinsichtlich des arteriellen Versorgungstyps (Rechts-, Links-, Kodominanz). Danach beurteilt man die Herzklappenmorphologie und das Myokard. Abschließend sollten Nebenbefunde analysiert werden.

■ Plaques und Stenosen

Jedes Koronargefäß sollte auf Plaques und Stenosen geprüft werden. In Abb. 3 handelt es sich um einen Normalbefund, alle Koronargefäße sind frei von arteriosklerotischen Veränderungen (sowohl Stenosen als auch Plaques). Dieser Befund sollte für alle Gefäße dokumentiert werden, stellt er doch eine gewisse Sicherheit für den zuweisenden klinischen Kollegen dar. Plaques sollten in kalzifizierte und nicht kalzifizierte Plaques unterteilt werden (Abb. 4). In der Praxis werden gewöhnlich eine geringgradige Stenose (25–49%), eine mittelgradige Stenose (50–69%) und eine hochgradige Stenose (70–99%) sowie eine Okklusion

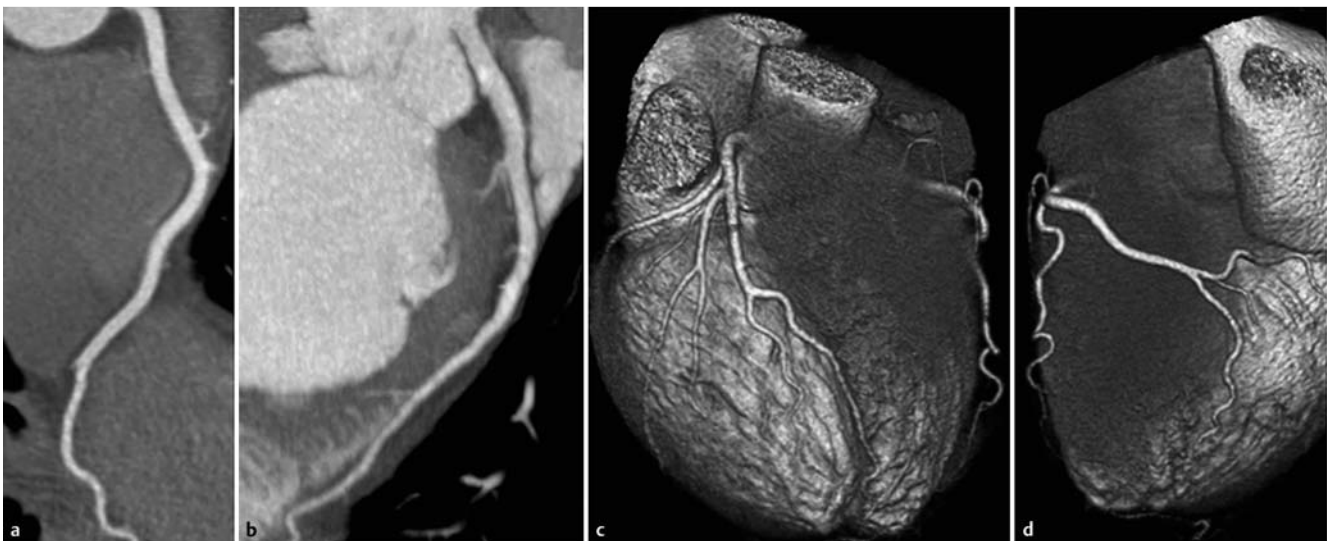


Abb. 3 Normwertige Darstellung der Koronargefäße ohne Nachweis von Plaques oder Stenosen. **a** A. coronaria dextra („right coronary artery“, RCA). **b** R. interventricularis anterior der A. coronaria sinistra („left anterior descending coronary artery“, LAD). **c** Volume-rendering-Darstellung der LAD. **d** Volume-rendering-Darstellung der RCA.

Tipps und Tricks

Umgang mit nicht diagnostischen Untersuchungen

- Eine adäquate Patientenauswahl und -vorbereitung ist entscheidend und senkt den Anteil von nicht diagnostischen Untersuchungen.
- Bei retrospektiv oder prospektiv akquiriertem Scan sollten unterschiedliche Herzphasen rekonstruiert werden. Gegebenenfalls sind einzelne Koronarsegmente auf unterschiedlichen Rekonstruktionen beurteilbar.
- Auch manuell können bei diesen Akquisitionen einzelne Rekonstruktionsfenster angepasst werden.
- Durch die Verwendung von härteren Kernen kann der Einfluss von Kalzium-Blooming reduziert werden, auch hierzu ist eine weitere Rekonstruktion notwendig.
- Die Verwendung von mehreren Ebenen mittels multiplanarer Rekonstruktionen kann bei der Beurteilung von potenziellen Artefakten helfen.

unterschieden (Abb. 5). Eine genauere Graduierung der Stenose hat sich in der klinischen Praxis nicht etabliert. Zur Lokalisation der Befunde der Koronararterien wird die Klassifikation der American Heart Association verwendet und zwischen proximalen, mittleren und distalen Segmenten der jeweiligen Koronargefäße unterschieden [17]. Dabei gelten die von den Hauptgefäßen abgehenden Seitenäste als Segmentgrenzen.

Generell gilt bei Patienten mit klinischem Verdacht auf ein AKS, dass die Untersuchung direkt im Anschluss interpretiert und der Befund direkt dem Zuweiser mitgeteilt werden sollte.

Akutes Koronarsyndrom

Ursachen des Thoraxschmerzes. Der akute Thoraxschmerz ist der häufigste Vorstellungsgrund in der Notaufnahme, jedoch wird in ca. 80% der Fälle eine extrakardiale Ursache (z. B. gastrointestinal, muskulär) diagnostiziert [18]. In den übrigen 20% ist das AKS die Ursache. Zum AKS werden die folgenden 3 Formen gezählt: ST-Hebungs- (STEMI) und Nicht-ST-Hebungsinfarkt (NSTEMI) sowie die instabile Angina pectoris (UAP) [19].

Pathophysiologie des akuten Koronarsyndroms. Das AKS ist meist Folge eines arteriosklerotischen Prozesses. Seltener pathophysiologische Mechanismen sind die koronare Embolie oder der Gefäßspasmus, die hier

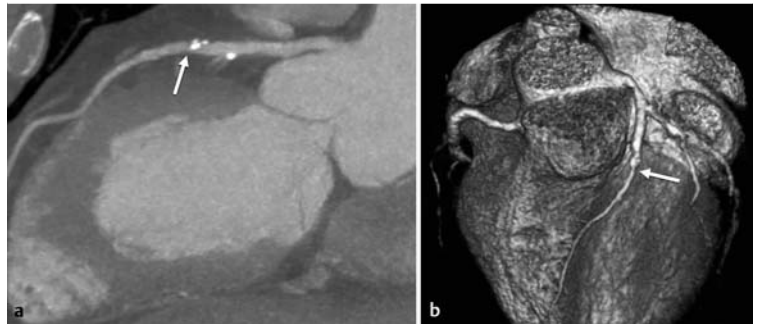


Abb. 4 Nachweis von Plaque (kalzifiziert mit geringen nicht kalzifizierten Anteilen) im proximalen Segment der LAD. **a** Gekrümmte multiplanare Reformation. **b** Volume-rendering-Darstellung.

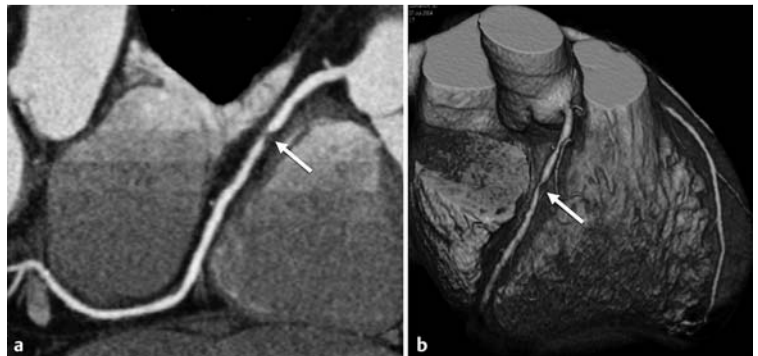


Abb. 5 Darstellung einer kurzstreckigen hochgradigen Stenose (>90%) der proximalen rechten Koronararterie (RCA, Pfeil). **a** Gekrümmte Reformatierung. **b** Volume-rendering-Darstellung.

nicht weiter erörtert werden. Eine Arteriosklerose verläuft für lange Zeit asymptomatisch und bleibt damit subklinisch. Erst mit der Ischämie des Myokards wird dieser Prozess symptomatisch:

- Ein möglicher pathophysiologischer Pfad beginnt dabei mit der Ruptur oder Erosion des Plaques, worauf eine Thrombusbildung und der (Partial-)Verschluss des Koronargefäßes folgen. Dabei spielen sog. „vulnerable“ Plaques eine maßgebende Rolle, die durch ihre Morphologie (z. B. dünne fibröse Kappe, großes nekrotisches Zentrum) und/oder ihren entzündlichen Status eine erhöhte Wahrscheinlichkeit zur Ruptur haben [20]. Diese „vulnerablen“ Plaques kommen gehäuft auch in Gefäßabschnitten ohne signifikante Stenosen vor, was erklärt, dass bei ca. 5–20% der AKS keine signifikante Stenose in der konventionellen Koronarangiografie nachgewiesen werden kann [20].
- Der zweite pathophysiologische Pfad nimmt an, dass eine arteriosklerotische Läsion zunehmend das Lumen der Koronararterie einengt, was langfristig zu einer reduzierten Sauerstoffversorgungskapazität führt (entspricht einer „signifikanten“ Stenose). In Situationen des besonderen Sauerstoffverbrauchs

Klinischer Hintergrund

Akutes Koronarsyndrom

- Das AKS beinhaltet Myokardinfarkt (Ischämie inkl. Nekrose) und die instabile Angina pectoris (Ischämie ohne Nekrose).
- Das AKS entsteht entweder aus einer Plaqueruptur mit konsekutiver Thrombosierung oder einem Ungleichgewicht von Sauerstoffversorgung und -verbrauch bei signifikanter Koronarstenose.
- Etwa 5–20% der Patienten mit akutem Koronarsyndrom haben keine signifikante Koronarstenose in der invasiven Angiografie.
- Nur ca. 50–60% der Patienten mit akutem Thoraxschmerz in der Notaufnahme weisen eine koronare Arteriosklerose in der kardialen CT auf, davon ist ein Großteil (ca. 80%) subklinisch.

(wie z. B. Anstrengung und Stress) kommt es zu einem Ungleichgewicht zwischen Sauerstoffversorgung und -verbrauch. Wenn die körpereigenen Kompensationsmechanismen wie z. B. die Vasodilatation erschöpft sind, kommt es zu einer myokardialen Ischämie – klinisch als AKS bekannt.

Definition/Diagnostik. Ein STEMI geht mit spezifischen EKG-Veränderungen einher, NSTEMI und UAP benötigen weitere diagnostische Maßnahmen: Die UAP ist definiert als myokardiale Ischämie ohne Nekrose, dagegen grenzt sich der NSTEMI ab, bei dem es zu myokardialen Nekrosen kommt und entsprechend Herzenzyme freigesetzt werden. Für einzelne Hochrisikopatienten kann eine direkte invasive Diagnostik und Therapie angezeigt sein. Kann ein AKS initial nicht nachgewiesen werden, schließt sich bei einem großen Teil der Patienten die serielle Messung von Herzenzymen an, da zwischen dem akuten Ereignis und dem Anstieg der Herzenzyme mehrere Stunden vergehen können. Wird kein Anstieg beobachtet und ist die Vor-testwahrscheinlichkeit hoch genug, ist ein Stresstest zur Abklärung hinsichtlich der UAP und für die weitere Risikoeinschätzung angeraten.

Obwohl diese Triage-Strategie bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz international anerkannt ist, werden in den USA ca. 2–3% aller Patienten mit AKS irrtümlich aus der Notaufnahme entlassen [21]. Für Europa dürfte diese Prozentzahl in mindestens der gleichen Größenordnung liegen, zuverlässige Daten dazu gibt es jedoch nicht.

Aus diesen klinischen und versorgungstechnischen Problemen bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz ist die kardiale CT als mögliche Alternative in den Fokus der Forschung gerückt mit dem Ziel, eine sicherere,

schnellere und kostengünstigere Triage in der Notaufnahme anbieten zu können. Dieser Fragestellung ist in mehreren Studien mit insgesamt weit über 3000 Patienten nachgegangen worden.

Kardiale CT beim akuten Koronarsyndrom

Belegter Stellenwert der Methode

Zur Bewertung der kardialen CT zur Triage von Patienten mit akutem Thoraxschmerz wurden in verschiedenen Studien die folgenden Aspekte untersucht: diagnostische Genauigkeit für AKS, klinische Effektivität und Effizienz und prognostischer Langzeitwert.

■ Diagnostische Genauigkeit

Was den Nachweis von Koronarstenosen angeht, wurde die hohe diagnostische Genauigkeit der kardialen CT im Vergleich zum Goldstandard der invasiven Angiografie schon früh nachgewiesen. Durchweg zeigten alle Studien eine hohe Sensitivität, wobei die Spezifität moderat bis gut war. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass die kardiale CT koronare Plaques ab einer Intimadicke von 1 mm zuverlässig (>90%) nachweisen kann. Jedoch ist die Korrelation zwischen dem Ausmaß der koronaren Arteriosklerose und dem Auftreten von AKS variabel. Entsprechend wurde die kardiale CT auch im Hinblick auf den Nachweis eines AKS beurteilt – zuerst von Rubinstein et al. im Jahr 2007 und später bestätigt und erweitert in einer großen, prospektiven Kohortenstudie (ROMICAT I, 2009) durch Hoffmann et al., bei der 368 Patienten mit akutem Thoraxschmerz aber normalem EKG und normaler erster Troponinmessung eine kardiale CT in der Notaufnahme bekamen [22]. Unabhängig vom Ergebnis der CT wurde bei 34 Patienten ein AKS im weiteren klinischen Verlauf diagnostiziert. Der Ausschluss arteriosklerotischer Koronarplaques mittels kardialer CT machte ein AKS sehr unwahrscheinlich (100% negativ prädiktiver Wert mit 95%-Konfidenzintervall von 98–100%), während eine signifikante Stenose (definiert als mehr als 50%ige Lumeneinengung) mit einer 77%igen Sensitivität und 87%igen Spezifität hinsichtlich eines AKS assoziiert war. Es zeigte sich, dass die bloße Erfassung einer signifikanten Stenose in der kardialen CT nicht mit der Diagnose des AKS gleichgesetzt werden kann (ROMICAT I: nur 20 von 34 Patienten mit signifikanter Stenose hatten ein AKS; Studie von Hollander et al.: nur 7 von 54 Patienten mit signifikanter Stenose zeigten eine Stenose in der invasiven Angiografie oder entwi-

ckelten ein Ereignis innerhalb von 30 Tagen). In Kombination mit der niedrigen Prävalenz des AKS in dieser Patientenpopulation mit akutem Thoraxschmerz (ca. 10–20% haben ein AKS) ergibt sich für „signifikante Stenose“ in der kardialen CT ein positiver prädiktiver Wert von lediglich ca. 35–50%. Um dieses Defizit zu überwinden, wurden und werden verschiedene Strategien verfolgt (z.B. Einbindung der linksventrikulären Funktion, Untersuchung der Stenosenmorphologie, Erfassung von myokardialer Perfusion, Berechnung der fraktionellen Flussreserve) – z.Zt. noch ohne befriedigende Lösung für diese Problematik.

■ **Klinische Effektivität und Effizienz**

Die diagnostischen Genauigkeitsstudien führten zur Hypothese, dass die kardiale CT das Notaufnahme-Management für Patienten mit akutem Thoraxschmerz und einem niedrigen bis mittleren Risikoprofil für AKS signifikant verbessern kann. Die Hypothese beruhte auch auf der Beobachtung, dass bei ca. 40–50% der Patienten mit akutem Thoraxschmerz in einer Notaufnahme in den USA absolut keine arteriosklerotischen

Koronarveränderungen in der kardialen CT nachgewiesen werden konnten. In 3 großen multizentrischen randomisierten Studien wurde dieser Hypothese nachgegangen (Tab. 2).

- In der Studie von Goldstein et al. (CT-STAT) wurden 749 Patienten mit akutem Thoraxschmerz, negativem EKG und initial negativen Herzenzymen in einen Arm mit nuklearem Stresstest und einen Arm mit kardialer CT randomisiert. Die CT-basierte Strategie verringerte sowohl die Zeit bis zur Diagnose um mehr als 50% (2,9 vs. 6,2 Stunden) als auch die Strahlendosis im Vergleich zur Triage mit nuklearem Stresstest (Tab. 2) [23].
- In der im New England Journal of Medicine publizierten ROMICAT-II-Studie von Hoffmann et al. wurde in einer ähnlichen Population eine CT-basierte Triage mit Standard-of-Care (SOC) verglichen. Dabei führte die CT-basierte Strategie zu einer verkürzten Klinikaufenthaltsdauer (18 vs. 25 Stunden), primär durch eine erhöhte Rate an Direktentlassungen aus der Notaufnahme (50% vs. 22%) [24].

Tabelle 2

Randomisiert-kontrollierte Studien mit koronarer CT-Angiografie als diagnostische Intervention bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz in der Notaufnahme. Die Triage in der Notaufnahme mittels kardialer CT (CCTA) wurde verglichen entweder mit anderen Triage-Strategien unter Verwendung von MPI oder mit SOC.

Studie	Patienten/Zentren	Population	Intervention	Kontrolle	Studienendpunkte und beobachtete Unterschiede (CCTA vs. Kontrolle)
Goldstein et al. (CT-STAT, 2011) [23]	749/16	<ul style="list-style-type: none"> ■ negatives Troponin ■ unspezifisches EKG ■ Alter: 50 ± 10 Jahre ■ weiblich: 54% 	CCTA	MPI	<ul style="list-style-type: none"> ■ AMI-Prävalenz: 0,3% vs. 1,5% ■ MACE im Follow-Up: 0,8% vs. 0,4% ■ direkte Entlassungen: nicht verfügbar ■ Zeit bis zur Diagnose*: 2,9 Std vs. 6,2 Std ■ invasive Angiografie: 7% vs. 6% ■ Kosten*: \$ 2137 vs. \$ 3458 ■ Strahlendosis: 12 mSv vs. 13 mSv
Hoffmann et al. (ROMICAT-II, 2012) [24]	1000/7	<ul style="list-style-type: none"> ■ negatives Troponin ■ unspezifisches EKG ■ Alter: 54 ± 8 Jahre ■ weiblich: 47% 	CCTA	SOC	<ul style="list-style-type: none"> ■ AMI-Prävalenz: 2% vs. 3% ■ MACE im Follow-Up: 0,4% vs. 1,2% ■ direkte Entlassungen*: 47% vs. 12% ■ Zeit bis zur Diagnose*: 5,8 Std vs. 21,0 Std ■ invasive Angiografie: 11% vs. 7% ■ Kosten: \$ 2101 vs. \$ 2566 ■ Strahlendosis*: 14 mSv vs. 5 mSv
Litt et al. (2012) [25]	1370/5	<ul style="list-style-type: none"> ■ negatives Troponin ■ unspezifisches EKG ■ Alter: 49 ± 10 Jahre ■ weiblich: 53% 	CCTA	SOC	<ul style="list-style-type: none"> ■ AMI-Prävalenz: 1% vs. 1% ■ MACE im Follow-Up: 3% vs. 1% ■ direkte Entlassungen*: 50% vs. 23% ■ Zeit bis zur Diagnose*: 18,0 Std vs. 24,8 Std ■ invasive Angiografie: 4% vs. 4% ■ Kosten: nicht verfügbar ■ Strahlendosis: nicht verfügbar

AMI = akuter Myokardinfarkt, MACE = kardiovaskuläre Events, mSv = Millisievert, MPI = Myokardperfusionsszintigrafie, SOC = klinisch etablierte Methode = Standard-of-Care, Std = Stunden

* signifikanter Unterschied (p < 0,05) in der Studie nachgewiesen; bei den Kosten beschränkt sich dies auf angefallene Kosten nur in der Notaufnahme

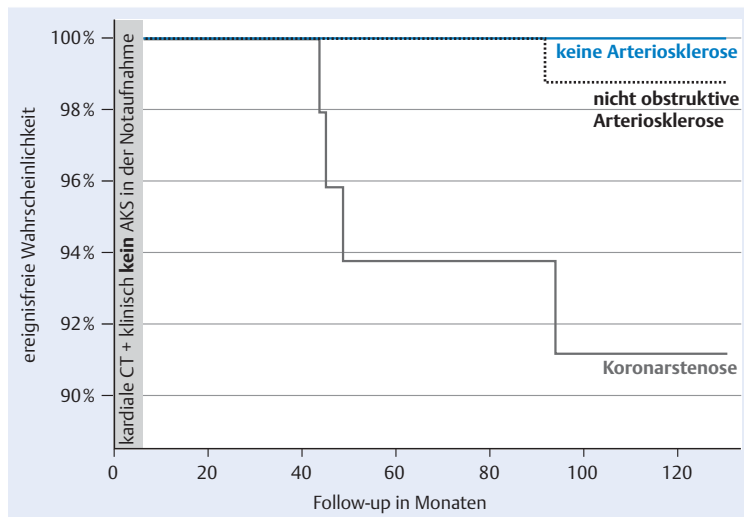


Abb. 6 Kaplan-Meier-Kurven stratifiziert nach dem Befund der kardialen CT. Patienten, die mit akutem Thoraxschmerz in die Notaufnahme kamen, wo eine nicht kardiale Ursache diagnostiziert wurde, wurden 2 Jahre hinsichtlich kardiovaskulärer Ereignisse nachverfolgt. Der CT-Befund war weder dem Patienten noch dem behandelnden Arzt bekannt und die in der CT diagnostizierte Arteriosklerose war zum Zeitpunkt der Untersuchung subklinisch (modif. nach [27]).

- Die Studie von Litt et al. wurde ebenfalls im New England Journal of Medicine publiziert und untersuchte mit 1370 Patienten die Sicherheit der unterschiedlichen Triage-Strategien. In der initialen Studie von Goldstein et al. war gezeigt worden, dass die Rate an Ereignissen innerhalb von 6 Monaten bei beiden Triage-Strategien ähnlich war (0,8% für kardiale CT vs. 0,4% für Stresstest). Litt et al. bestätigten dies und zeigten weiter, dass die obere Grenze des 95%-Konfidenzintervalls für verpasste AKS mittels der CT-Strategie unter 1% während eines 30-Tage Follow-up lag [25].

Während nachgewiesen wurde, dass die kardiale CT eine schnellere und sichere Triage bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz bietet, zeigte sich in einer Metaanalyse von Hulthen et al., dass die Rate an koronaren Re-Vaskularisationen in der CT-basierenden Triage zunahm – ca. 20 pro 1000 kardiale CT [26]. Ob sich dies positiv auf das Überleben der Patienten auswirkt und ggf. mögliche zukünftige Ereignisse verhindert, ist unklar.

Die Kosten- und Wirtschaftlichkeitsberechnungen aus diesen Studien beziehen sich ausschließlich auf den US-Krankenhausmarkt und sind nur bedingt in ein europäisches Konzept übertragbar. Kurz gesagt kann die kardiale CT Kosten im Bereich der Notaufnahme senken (Tab. 2), nicht aber die Gesamtkosten reduzieren. Ob diese Reallokation der Ressourcen langfristig zu einer verbesserten Lebensqualität und Überlebenswahr-

scheinlichkeit der Patienten führt, ist aktuell ebenfalls noch nicht abschließend geklärt.

■ Prognostischer Langzeitwert

Allgemein ist bekannt, dass die Erfassung einer subklinischen Krankheit einer der stärksten Prädiktoren für zukünftige, klinisch manifeste Ereignisse ist. In der Population von Patienten mit akutem Thoraxschmerz in der Notaufnahme haben ca. 40–50% CT-morphologisch absolut keine koronare Arteriosklerose. Von den 50–60% Patienten mit Koronarplaque und ggf. -stenose ist die Arteriosklerose in einem Großteil (ca. 80%) subklinisch. Im Follow-up der ROMICAT-I-Studie wurde untersucht, inwieweit die kardiale CT langfristige prognostische Information liefert [27]. Dafür wurden 300 Patienten, bei denen kein AKS während des ersten Krankenhausaufenthalts diagnostiziert worden war, 2 Jahre lang beobachtet und dabei 5 Ereignisse registriert (1 STEMI, 3 NSTEMI und 4 koronare Revaskularisationen). Die meisten Ereignisse (4 von 5 Events; Abb. 6) traten bei Patienten auf, die Koronarstenosen in der kardialen CT hatten, initial jedoch subklinisch waren (2-Jahre-Eventrate von 8,9%). Der prognostische Langzeitwert stieg weiter, wenn man zusätzlich das Myokard in der kardialen CT analysierte. Bei Patienten mit Koronarstenose und myokardialer Wandbewegungsstörung lag die 2-Jahre-Eventrate bei 18,5%. Im Gegensatz zu den meisten anderen Studien – insbesondere den bestehenden klinischen Registern – war der Befund der kardialen CT sowohl dem Patienten als auch dem behandelnden Arzt nicht bekannt und konnte somit die subjektiven und klinischen Entscheidungen nicht verfälschen.

Wichtiger jedoch ist, dass sich bei Patienten, bei denen eine Arteriosklerose der Koronargefäße mittels kardialer CT ausgeschlossen wurde (Abb. 3), kein kardiovaskuläres Ereignis ereignete (s. a. Abb. 6). Diese ereignisfreie Periode von (mindestens) 2 Jahren nach Ausschluss einer subklinischen Arteriosklerose mittels kardialer CT wurde auch in anderen Studien bestätigt und scheint dem Kalzium-Scoring überlegen zu sein. Bei letzterem kann lediglich eine verkalkte Arteriosklerose ausgeschlossen werden.

■ Zusammenfassung

Zusammenfassend gibt es eine breite Evidenz, dass die kardiale CT eine sichere Methode ist, um ein AKS auszuschließen. Der Einsatz in der Notaufnahme (in den USA) steigerte die Effektivität hinsichtlich der durchschnittlichen Verweildauer und Zeit bis zur Diagnose. Die ökonomische Effizienz ist nicht abschließend beurteilbar, möglicherweise können Kosten in der Notauf-

nahme eingespart werden. Die Effektivitäts- und Effizienzbeurteilung ist aktuell auf den US-Raum beschränkt, nationale Unterschiede hinsichtlich der Strukturen im Krankenhaus, ärztlichen Mentalität etc. können darauf einen Einfluss haben und die internationale Generalisierbarkeit dieser Ergebnisse erschweren. Unabhängig davon konnte jedoch gezeigt werden, dass das Risiko kardiovaskulärer Ereignisse bei Patienten, die mit akutem Thoraxschmerz in die Notaufnahme kommen, aber initial keinen Hinweis auf ein AKS haben, langfristig deutlich erhöht ist, wenn eine subklinische Koronarstenose oder myokardiale Wandbewegungsstörung in der kardialen CT diagnostiziert worden war. Dagegen sind kardiovaskuläre Ereignisse für die nächsten 2 Jahre sehr unwahrscheinlich, wenn eine Arteriosklerose mittels kardialer CT ausgeschlossen wurde. Entsprechend sollte das klinische Management der Patienten angepasst werden.

Zufallsbefunde und mögliche Differenzialdiagnosen

Obwohl sich die kardiale CT auf einen kleinen Bereich des Körpers begrenzt, sind Zufallsbefunde in dieser Population mit akutem Thoraxschmerz in fast jeder 2. Untersuchung zu finden – am häufigsten sind nicht verkalkte Lungenrundherde (24%) und Leberzysten (7%) (Tab. 3). Jedoch sind die Zufallsbefunde nur selten (ca. 1%) so klinisch relevant, dass sie das Management des Patienten signifikant beeinflussen [28].

Triple-Rule-Out-Protokoll

Durch eine Anpassung des Scanprotokolls können neben dem AKS auch gleichzeitig eine Lungenarterienembolie [LAE] und eine Aortendissektion ausgeschlossen werden – das sog. Triple-Rule-Out-Protokoll. Im Vergleich zur kardialen CT wird beim Triple-Rule-Out-CT mehr jodhaltiges Kontrastmittel benötigt, um die Zirkulationszeit des Kontrastmittels zwischen Lunge, Koronararterien und Aorta zu überbrücken (ca. 10 Sekunden). Des Weiteren muss der Scanbereich auf den gesamten Brustkorb erweitert werden [29]. Die klinische Durchführbarkeit und Genauigkeit des Triple-Rule-Out-Protokolls wurde in mehreren Studien für Patienten mit undifferenzierten, akuten Schmerzen im Thorax nachgewiesen [30,31]. Dagegen konnte die Effektivität und klinische Indikation bisher nicht ausreichend belegt werden und somit muss im Einzelfall der Nutzen gegen die Risiken

Tabelle 3

Die häufigsten Zufallsbefunde in einer Kohorte von 395 Patienten mit akutem Thoraxschmerz, die eine kardiale CT in der Notaufnahme bekommen haben [28].

	Häufigkeit von Nebenbefunden	Davon vorbekannte Befunde
Lungenrundherde, nicht verkalkt	23,8%	8,5%
Leberzysten	6,6%	7,7%
Lungenrundherde, verkalkt	4,1%	12,5%
Hiatushernie	3,5%	14,3%
vergrößerte Lymphknoten	2,3%	44,4%
kontrastmittelfaffine Leberläsionen	2,3%	11,1%
Pneumonien	1,8%	57,1%
Emphysem	1,8%	42,9%
Atelektasen	1,3%	60,0%
sonstige Zufallsbefunde (u. a. Pleuraerguss, Aneurysma, Pneumothorax)	2,8%	–

(erhöhte Strahlendosis, Kontrastmittelmenge) abgewogen werden.

Mögliche Einordnung der kardialen CT im klinischen Management

Einsatz der kardialen CT. Als aktuelle Empfehlungen liegen die sog. Appropriateness Criteria der AHA/ACC von 2010 [1] und die nationalen Konsensempfehlungen zum Einsatz der Herzbildgebung von 2012 vor [4]. Beide Empfehlungen sehen den Einsatz der kardialen CT beim akuten Thoraxschmerz ohne EKG-Veränderungen und ohne Troponinanstieg unter bestimmten Voraussetzungen als gerechtfertigt an. Zu diesen Voraussetzungen zählt die Vortestwahrscheinlichkeit, die gemäß den beiden Empfehlungen für einen sinnvollen Einsatz niedrig bis mittel sein sollte. In dieser Gruppe sehen die nationalen Empfehlungen die diagnostische Genauigkeit der kardialen CT vergleichbar gut wie mit anderen Verfahren [4].

Zur Definition der Vortestwahrscheinlichkeit wird i. d. R. eine Verteilung der Prävalenzen in Abhängigkeit von Alter, Geschlecht und Symptomstatus (typische, atypische Angina, nicht kardialer Thoraxschmerz oder

Tipps und Tricks

Patientenauswahl

- Entscheidend ist eine niedrige bis mittlere Vortestwahrscheinlichkeit für eine signifikante Koronarstenose.
- Eine niedrige Vortestwahrscheinlichkeit besteht vor allem bei Patienten ohne vorbekannte KHK im mittleren Alter. Grundsätzlich ist die Vortestwahrscheinlichkeit auch bei weiblichen Patienten geringer.
- Auch atypischer, nicht eindeutig pektanginöser Brustschmerz senkt die Vortestwahrscheinlichkeit.
- Da eine Mitarbeit (Luftanhalten) des Patienten notwendig ist, sollte Compliance und ggf. ein moderater BMI bei der Patientenauswahl berücksichtigt werden.
- Da die Herzfrequenz die Bildqualität entscheidend beeinflusst, sollten Patienten mit langsamem Sinusrhythmus bevorzugt werden.

Tabelle 4

Vortestwahrscheinlichkeiten für eine signifikante Koronarstenose in Abhängigkeit von Geschlecht, Alter und Symptomstatus, modifiziert nach Diamond/Forrester [1, 32].

Alter	Typische Angina	Atypische Angina	Nicht kardialer Brustschmerz	Asymptomatisch
Frauen				
<40	mittel	sehr niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig
40–49	mittel	niedrig	sehr niedrig	sehr niedrig
50–59	mittel	mittel	sehr niedrig	sehr niedrig
>60	hoch	mittel	mittel	niedrig
Männer				
<40	mittel	mittel	niedrig	sehr niedrig
40–49	hoch	mittel	mittel	niedrig
50–59	hoch	mittel	mittel	niedrig
>60	hoch	mittel	mittel	niedrig

asymptomatisch), modifiziert von Diamond und Forrester, verwendet [32]. Hierbei wird eine Vortestwahrscheinlichkeit von weniger als 10% als niedrig, von 10–90% als mittel und von mehr als 90% als hoch klassifiziert (Tab. 4). Die Patienten mit einem initial unauffälligen Troponintest und ohne EKG-Veränderungen mit einer niedrigen bis mittleren Vortestwahrscheinlichkeit sollten zügig mittels CT untersucht und beurteilt werden.

Befundkonsequenz. Ein noch nicht abschließend bewerteter Aspekt ist die Konsequenz der den klinischen Kollegen kommunizierten koronaren Befunde [33]. Einigkeit besteht bei einer Befundkonstellation, bei der weder eine signifikante Koronarstenose noch Koronarplaque diagnostiziert wird (Abb. 3). Hier scheint eine sichere Entlassung des Patienten möglich. Ebenso eindeutig ist das Vorgehen bei Patienten mit einer signifikanten Koronarstenose, bei denen sich der Verdacht auf ein AKS erhärtet und die i. d. R. einer invasiven Koronarangiografie in Interventionsbereitschaft zugeführt werden. Fraglich ist das weitere Vorgehen bei Patienten mit subklinischer Koronarstenose oder ohne signifikante Koronarstenose, jedoch mit Koronarplaques (Abb. 4). In dieser Gruppe ist die Wahrscheinlichkeit eines akuten Koronarsyndroms zwar gering, jedoch vorhanden (s. o.) [22], sodass hier mehrere Optionen institutsabhängig zur Anwendung kommen sollten. Diese beinhalten z. B. eine Aufnahme in einer „Chest Pain Unit“, eine weitere funktionelle Untersuchung (z. B. Stress-EKG, Stress-MRT oder nuklearer Stresstest) oder die Entlassung bei geringer Risikokonstellation.

In diese Empfehlungen sind z. T. die aktuellen Forschungsergebnisse, die oben zusammengefasst wurden, noch nicht komplett eingeflossen. Die Aktualisierung der Leitlinien wird den Einsatz der kardialen CT bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz in der Notaufnahme weiter empfehlen.

Zusammenfassung

Bei der kardialen CT handelt es sich um ein zunehmend in der Praxis etabliertes Verfahren, das einen hohen Stellenwert auch bei Patienten mit Verdacht auf ein AKS aufweist. Aufgrund des wachsenden Evidenzgrades und den Empfehlungen der Fachgesellschaften wird die kardiale CT auch in der breiten radiologischen Versorgung eine zunehmende Bedeutung einnehmen. Wesentliche Aspekte bei der Durchführung der kardialen CT sind zunächst die adäquate Patientenselektion, die sich an einer niedrigen bis mittleren Vortestwahrscheinlichkeit für eine Koronarstenose orientieren sollte. Spezielle Kenntnisse sind bei der Patientenvorbereitung und Protokollauswahl mit Berücksichtigung von Dosisaspekten notwendig. Die Einbindung in die Akutversorgung erfordert bei dieser Indikation eine umgehende Befundung in Hinblick auf eine Koronarstenose oder von Koronarplaque sowie von potenziell relevanten Nebenbefunden.

Kernaussagen

- Die kardiale CT ist ein technisch hochentwickeltes Verfahren, welches zunehmend in die klinischen Algorithmen integriert wird.
- Insbesondere der Einsatz bei Patienten mit Verdacht auf ein AKS ist dabei von besonderer Relevanz im klinischen Umfeld, da hier der Nutzen nachweis umfangreich erfolgt ist. Auch ist der klinische Bedarf einer schnelleren Diagnostik in dieser Patientengruppe am höchsten.
- Zur adäquaten Befundung bei guter Bildqualität sind Kenntnisse bei Patientenauswahl und -vorbereitung sowie über die Untersuchungsprotokolle und Möglichkeiten der Dosisreduktion wesentlich.
- Bei der Patientenauswahl sollten die Vortestwahrscheinlichkeiten berücksichtigt werden und jüngere Patienten mit atypischen Beschwerden und ohne etablierte KHK vorgezogen werden.
- Der Befund sollte spezielle Aussagen über das Vorliegen von Plaques (kalzifiziert und oder nicht kalzifiziert) und/oder Stenosen in allen 3 Koronargefäßen beinhalten sowie Nebenbefunde erfassen.
- Die aktuellen Leitlinien erfassen die Wertigkeit der kardialen CT als vergleichbar gegenüber anderen Verfahren bei Patienten mit normalem Troponin und EKG, wobei zu erwarten ist, dass die kardiale CT zukünftig aufgewertet wird.

Abstract

Currently, cardiac computed tomography (CT) is increasingly being implemented into clinical algorithms, primarily due to substantial technical advances over the last decade. Its use in the setting of suspected acute coronary syndrome is of particular relevance, given the high degree of accumulating scientific evidence of improving patient outcomes. Performing cardiac CT requires specific knowledge on the available scan acquisitions and patient preparation. Also, expertise is required in order to interpret the coronary and extra-coronary findings adequately. The present article provides an overview of the different aspects on the use of cardiac CT in the setting of acute coronary syndrome.

Keywords

Cardiac CT · computed tomography · acute coronary syndrome · clinical value

Audio-Podcast des kompletten Artikels

Diesen Beitrag können Sie in der HTML-Datei auch als Podcast anhören. Online finden Sie den Beitrag unter www.thieme-connect.de/products.

Über die Autoren

Christopher L. Schlett, MPH



Dr. med. Medizinstudium an der Universität Witten/Herdecke. 2011 Masterstudium im Bereich „Public Health“ an der Harvard School of Public Health, Boston, USA. Mehrere Jahre am Cardiac MR PET CT Program des Massachusetts General Hospitals, Instructor in Radiology an der Harvard Medical School, Boston, USA.

Seit 2013 in der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Heidelberg.

Hatem Alkadhi, MPH



Prof. Dr. med. Studium an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Dissertation am Institut für Neuroradiologie im Klinikum Großhadern. Weiterbildung zum Neuroradiologen und Radiologen am Universitätsspital Zürich. Seit 2006 Leitender Arzt mit dem Schwerpunkt Computertomografie am Universitätsspital Zürich. 2010 Master of Public Health an der Harvard School of Public Health in Boston, USA.

Seit 2013 in der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Heidelberg.

Fabian Bamberg, MPH



Priv.-Doz. Dr. med. Studium an der Medizinischen Hochschule Hannover und der Universität Witten/Herdecke. Mehrere Jahre am Cardiac MR PET CT Program des Massachusetts General Hospitals der Harvard Medical School, Boston (Faculty, später Co-Direktor des Clinical Trial Centers). 2008 Master of Public Health an der Harvard School of Public Health in Boston, USA. Facharzt Ausbildung am Institut für Klinische Radiologie der Ludwig-Maximilians-Universität, dort zuletzt Leiter des Bereichs

Seit 2013 in der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Heidelberg.

MRT. Seit 2014 leitender Oberarzt in der Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie des Universitätsklinikums Tübingen.

Korrespondenzadresse

Priv.-Doz. Dr. med. Fabian Bamberg
 Universitätsklinikum Tübingen
 Diagnostische und Interventionelle Radiologie
 Hoppe-Seyler-Straße 3
 72076 Tübingen
 Tel. +49 7071 29-86676
 Fax: +49 7071 29-5845
 E-Mail: fabian.bamberg@uni-tuebingen.de

Interessenkonflikt: Der Autor Priv.-Doz. Dr. Bamberg gibt an: Rednerhonorar und nicht zweckgebundene Forschungsgelder von Siemens Healthcare und Bayer Schering Pharma. Für die Autoren Dr. Schlett und Prof. Alkadhi wird kein Interessenkonflikt angegeben.

Literatur

- 1 Taylor AJ et al. ACCF/SCCT/ACR/AHA/ASE/ASNC/NASCI/SCAI/SCMR 2010 Appropriate Use Criteria for Cardiac Computed Tomography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the American Society of Nuclear Cardiology, the North American Society for Cardiovascular Imaging, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation* 2010; 122: e525–555
- 2 Alkadhi H et al. Praxisbuch Herz-CT. 2. Auflage. Heidelberg: Springer; 2013
- 3 Bamberg F et al. Imaging evaluation of acute chest pain: systematic review of evidence base and cost-effectiveness. *J Thorac Imaging* 2012; 27: 289–295
- 4 Achenbach S et al. Consensus recommendations of the German Radiology Society (DRG), the German Cardiac Society (DGK) and the German Society for Pediatric Cardiology (DGPK) on the use of cardiac imaging with computed tomography and magnetic resonance imaging. *Rofo* 2012; 184: 345–368
- 5 Scheffel H et al. Coronary artery plaques: cardiac CT with model-based and adaptive-statistical iterative reconstruction technique. *Eur J Radiol* 2012; 81: e363–369
- 6 Puchner SB et al. The effect of iterative image reconstruction algorithms on the feasibility of automated plaque assessment in coronary CT angiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2013; 29: 1879–1888
- 7 Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography – an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med* 2007; 357: 2277–2284
- 8 Alkadhi H, Leschka S. Radiation dose of cardiac computed tomography – what has been achieved and what needs to be done. *Eur Radiol* 2011; 21: 505–509
- 9 Cademartiri F et al. CT coronary angiography at an ultra-low radiation dose (< 0.1 mSv): feasible and viable in times of constraint on healthcare costs. *Eur Radiol* 2013; 23: 607–613
- 10 Arnoldi E et al. Adequate image quality with reduced radiation dose in prospectively triggered coronary CTA compared with retrospective techniques. *Eur Radiol* 2009; 19: 2147–2155
- 11 Lell M et al. Prospectively ECG-triggered high-pitch spiral acquisition for coronary CT angiography using dual source CT: technique and initial experience. *Eur Radiol* 2009; 19: 2576–2583
- 12 Engel LC et al. Weekly dose reports: the effects of a continuous quality improvement initiative on coronary computed tomography angiography radiation doses at a tertiary medical center. *Acad Radiol* 2013; 20: 1015–1023
- 13 Pugliese F et al. Diagnostic performance of coronary CT angiography by using different generations of multisection scanners: single-center experience. *Radiology* 2008; 246: 384–393
- 14 Earls JP et al. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose. *Radiology* 2008; 246: 742–753
- 15 Bamberg F et al. Diagnostic image quality of a comprehensive high-pitch dual-spiral cardiothoracic CT protocol in patients with undifferentiated acute chest pain. *Eur J Radiol* 2012; 81: 3697–3702
- 16 Stolzmann P et al. Left ventricular and left atrial dimensions and volumes: comparison between dual-source CT and echocardiography. *Invest Radiol* 2008; 43: 284–289
- 17 Cerqueira MD et al. Standardized myocardial segmentation and nomenclature for tomographic imaging of the heart: a statement for healthcare professionals from the Cardiac Imaging Committee of the Council on Clinical Cardiology of the American Heart Association. *Circulation* 2002; 105: 539–542
- 18 Roger VL et al. Heart disease and stroke statistics – 2012 update: a report from the American Heart Association. *Circulation* 2012; 125: e2–e220
- 19 Anderson JL et al. ACC/AHA 2007 guidelines for the management of patients with unstable angina/non ST-elevation myocardial infarction: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines (Writing Committee to Revise the 2002 Guidelines for the Management of Patients With Unstable Angina/Non ST-Elevation Myocardial Infarction): developed in collaboration with the American College of Emergency Physicians, the Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and the Society of Thoracic Surgeons; endorsed by the American Association of Cardiovascular and Pulmonary Rehabilitation and the Society for Academic Emergency Medicine. *Circulation* 2007; 116: e148–304
- 20 Finn AV et al. Concept of vulnerable/unstable plaque. *Arterioscler Thromb Vasc Biol* 2010; 30: 1282–1292
- 21 Pope JH et al. Missed diagnoses of acute cardiac ischemia in the emergency department. *N Engl J Med* 2000; 342: 1163–1170
- 22 Hoffmann U et al. Coronary computed tomography angiography for early triage of patients with acute chest pain: the

- ROMICAT (Rule Out Myocardial Infarction using Computer Assisted Tomography) trial *J Am Coll Cardiol* 2009; 53: 1642–1650
- 23** Goldstein JA et al. The CT-STAT (Coronary Computed Tomographic Angiography for Systematic Triage of Acute Chest Pain Patients to Treatment) trial. *J Am Coll Cardiol* 2011; 58: 1414–1422
- 24** Hoffmann U et al. Coronary CT angiography versus standard evaluation in acute chest pain. *N Engl J Med* 2012; 367: 299–308
- 25** Litt HI et al. CT angiography for safe discharge of patients with possible acute coronary syndromes. *N Engl J Med* 2012; 366: 1393–1403
- 26** Hulten E et al. Outcomes after coronary computed tomography angiography in the emergency department: a systematic review and meta-analysis of randomized, controlled trials. *J Am Coll Cardiol* 2013; 61: 880–892
- 27** Schlett CL 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. *JACC Cardiovasc Imaging* 2011; 4: 481–491
- 28** Lehman SJ et al. Significance of cardiac computed tomography incidental findings in acute chest pain. *Am J Med* 2009; 122: 543–549
- 29** Frauenfelder T et al. Triple rule-out CT in the emergency department: protocols and spectrum of imaging findings. *Eur Radiol* 2009; 19: 789–799
- 30** Halpern EJ. Triple-rule-out CT angiography for evaluation of acute chest pain and possible acute coronary syndrome. *Radiology* 2009; 252: 332–345
- 31** Yoon YE, Wann S. Evaluation of acute chest pain in the emergency department: "triple rule-out" computed tomography angiography. *Cardiol Rev* 2011; 19: 115–121
- 32** Diamond GA, Forrester JS. Analysis of probability as an aid in the clinical diagnosis of coronary-artery disease. *N Engl J Med* 1979; 300: 1350–1358
- 33** Hoffmann U, Bamberg F. Is computed tomography coronary angiography the most accurate and effective noninvasive imaging tool to evaluate patients with acute chest pain in the emergency department?: CT coronary angiography is the most accurate and effective noninvasive imaging tool for evaluating patients presenting with chest pain to the emergency department *Circ Cardiovasc Imaging* 2009; 2: 251–263; discussion 263

CME-Fragen

Die folgenden Fragen beziehen sich auf den vorangehenden Beitrag. Bitte schicken Sie uns die entsprechenden Lösungsbuchstaben. Jeweils eine Antwort ist richtig. Die Vergabe von CME-Punkten ist an die korrekte Beantwortung der Multiple-Choice-Fragen gebunden.

1

Mit welcher Akquisitionstechnik wird die geringste Dosisexposition erreicht?

- A retrospektive Triggerung mit systolischer Rekonstruktion
- B prospektive Triggerung
- C Padding bei der prospektiven Triggerung
- D High-Pitch-Protokoll
- E retrospektive Triggerung mit diastolischer Rekonstruktion

2

Welche Aspekte sollten bei der Patientenauswahl *nicht* positiv berücksichtigt werden?

- A Luftanhalten für ca. 15 s
- B atypische Beschwerden
- C langsamer Sinusrhythmus
- D hoher BMI
- E niedrige bis mittlere Vortestwahrscheinlichkeit für eine signifikante Koronarstenose

3

Gemäß aktuellen Leitlinien eignen sich welche Patienten für eine kardiale CT? Patienten mit Verdacht auf ein AKS, mit ...?

- A ST-Streckenhebungen im EKG
- B positivem Troponintest
- C negativem Troponintest und EKG ohne Ischämiezeichen
- D bekannter KHK und Z. n. Stentimplantation vor 1 Jahr
- E Myokardinfarkt in der Vorgeschichte

4

Welche der folgenden Möglichkeiten sind für eine Dosisreduktion *nicht* sinnvoll?

- A minimale Abdeckung des Scanvolumens
- B Dosismodulation bei retrospektiver Triggerung
- C strenge Indikationsstellung
- D Verwendung von High-Pitch-Protokollen
- E Erhöhung der Röhrenspannung auf 140 kVp

5

Welche der folgenden Aussagen zum akuten Koronarsyndrom ist *nicht* richtig?

- A Etwa 5–20% der Patienten mit akutem Koronarsyndrom haben eine signifikante Koronarstenose in der invasiven Angiografie.
- B Nur ca. 50–60% der Patienten mit akutem Thoraxschmerz in der Notaufnahme weisen eine koronare Arteriosklerose in der kardialen CT auf.
- C Der akute Thoraxschmerz hat meist eine nicht kardiale Ursache.
- D Zum AKS zählen STEMI, NSTEMI und instabile Angina pectoris.
- E Die Triage in der Notaufnahme besteht in erster Linie aus Anamnese und klinischer Untersuchung, gefolgt von 12-Kanal-EKG und Labordiagnostik einschließlich Herzenzyme.

6

Welcher der folgenden Nebentbefunde ist bei der kardialen CT am häufigsten?

- A Leberzysten
- B Cholezystolithiasis
- C Lungenrundherde
- D Pneumonie
- E Hiatushernie

CME-Fragen

Kardiale CT beim akuten Koronarsyndrom

7

Welche der folgenden Patientengruppen mit typischer Angina hat *keine* hohe Vortestwahrscheinlichkeit für eine signifikante Koronarstenose?

- A Männer zwischen 40 und 49 Jahren
- B Männer zwischen 50 und 59 Jahren
- C Männer über 60 Jahre
- D Frauen zwischen 50 und 59 Jahren
- E Frauen über 60 Jahre

8

Ab welcher Einschränkung des Koronargefäßdurchmessers spricht man von einer hochgradigen Stenose?

- A 20%
- B 50%
- C 60%
- D 70%
- E 99%

9

Welche der folgenden Aussagen zur (Vorbereitung einer) kardialen CT ist *nicht* richtig?

- A Der Patient sollte über die Details der Untersuchung, die Atemkommandos und die Kontrastmittelapplikation aufgeklärt werden.
- B Die Atemkommandos sollten auf dem CT-Tisch mit liegenden EKG-Elektroden simuliert werden.
- C Durch die technischen Entwicklungen der letzten Jahre konnte die Bildqualität generell verbessert und eine Dosisreduktion erzielt werden.
- D Die Applikation eines Betablockers ist obligat.
- E Körpergewicht, Body Mass Index (BMI) und die Compliance des Patienten sollten berücksichtigt werden.

10

Welche der folgenden Aussagen ist richtig?

- A Die Bildakquisitionen bei der kardialen CT dauert i. d. R. 2 Minuten.
- B Traditionell basiert die Bildrekonstruktion auf der gefilterten Rückprojektion der akquirierten Daten.
- C Mit iterativen Rekonstruktionsalgorithmen kann man die Strahlenexposition auf eine Effektivdosis von 20–25 mSv senken.
- D Die prospektiv EKG-getriggerte Akquisitionsform ist der Akquisitionsmodus aus den Anfangsjahren der CT-Koronarangiografie.
- E Die kardiale CT kann koronare Plaques ab einer Intimadicke von 5 mm zuverlässig (>90%) nachweisen.

CME.thieme.de

CME-Teilnahme

- ▶ Viel Erfolg bei Ihrer CME-Teilnahme unter <http://cme.thieme.de>
- ▶ Diese Fortbildungseinheit ist 12 Monate online für eine CME-Teilnahme verfügbar.
- ▶ Sollten Sie Fragen zur Online-Teilnahme haben, unter <http://cme.thieme.de/hilfe> finden Sie eine ausführliche Anleitung.