

MSCT bei thorakalen Notfällen

Der akute Thoraxschmerz ist aufgrund der häufig unspezifischen Klinik weiterhin eine der großen klinischen Herausforderungen in der Notfalldiagnostik. Verschiedene Differenzialdiagnosen müssen bedacht werden, einige davon sind potenziell lebensbedrohlich. Eine CT-basierte Abklärung vaskulärer thorakaler Notfälle kann in 3 Kategorien unterteilt werden: Lungengefäße (Lungenembolie), Aortenpathologie (akutes Aortensyndrom) sowie koronare Herzerkrankung (KHK). Alle Krankheitsbilder erfordern eine rasche, verlässliche und effektive Diagnostik als Basis für weiterführende Therapieentscheidungen.

Bildgebung

Ein einfaches, rund um die Uhr verfügbares und objektives Schnittbildverfahren steht mit der neuesten Mehrschicht-Spiral-CT-(MSCT-)Generation zur Verfügung. Diese sog. „Ein-Stopp-Strategie“ wird im angloamerikanischen Sprachraum auch unter dem Schlagwort „triple rule-out“TM subsummiert [1]. Bereits 2005 wurden Untersuchungsprotokolle für 16-Schicht-Scanner vorgeschlagen, um eine nichtinvasive kardiale Bildgebung auch unter Notfallbedingungen zu etablieren [2]. Mittlerweile kann die Abklärung koronarer Fragestellungen mit Hilfe von Geräten, die weniger als 16 Schichten simultan akquirieren, aufgrund der vorliegenden Daten aus Metaanalysen als obsolet angesehen werden [3]. In jedem Fall sollte daher im Vorfeld grundsätzlich ab-

geklärt werden, ob eine CT-Angiographie (CTA) der Koronarien mit der zur Verfügung stehenden Technologie auch unter Notfallbedingungen möglich ist.

Die Wahl des aufwendigeren Untersuchungsprotokolls mit EKG-Synchronisation (synonym werden EKG-Gating, -Triggerung und -Abgleich verwendet) wird durch die Frage bestimmt, ob eine KHK bzw. eine Pathologie der Aorta ascendens in der Differenzialdiagnostik zu berücksichtigen sind. Dies erfordert eine enge Abstimmung zwischen klinischen Zuweisern und Radiologen, um auch unter Strahlenschutzgesichtspunkten eine optimale und individuelle Triage der Patienten vorzunehmen.

Akute Lungenembolie

Eine akute Lungenembolie (LE) kann schnell und unvorhersehbar eintreten und ist eine diagnostische Herausforderung, nicht zuletzt aufgrund der häufig unspezifischen Klinik der Patienten [4]. Verschiedene klinische Scores sind entwickelt worden, um eine individuelle Einschätzung des aufnehmenden Arztes zu objektivieren, z. B. mittels des etablierten Wells-Score [5]. Eine CTA der Pulmonalgefäße unter Notfallbedingungen wird heute als Methode der Wahl für Patienten mit einer mittleren und hohen klinischen Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer LE angesehen [6]. Für ambulante Patienten mit einer niedriggradigen Wahrscheinlichkeit beinhaltet die kosteneffizienteste Methode eine vorgeschaltete Bestimmung von Fibrinolyseprodukten (D-

dimere aus dem Plasma des Patienten [7]).

Für die CT-Abklärung der LE besteht generell keine Notwendigkeit einer EKG-Synchronisation, alle Fragestellungen sind hinreichend mit einer Standarduntersuchung zu beantworten [8, 9]. Bereits für 4-Schicht-Scanner wurden exzellente negative Vorhersagewerte berichtet. Neben dem direkten Embolusnachweis können auch sekundäre Veränderungen im Rahmen dieses Krankheitsbildes nachgewiesen werden (■ **Abb. 1**). Dies beinhaltet Abschnitte erhöhter Transparenz als auch Bereiche mit erhöhter Dichte im Lungparenchym [10]. Rechtsherzbelastungszeichen können indirekt aus einer Erweiterung des rechten Vorhofs und des rechten Ventrikels abgeleitet werden [11]. Als weiteres Zeichen wird die paradoxe Septumbeweglichkeit angesehen, diese äußert sich in der CT als Streckung des interventrikulären Septums bzw. als eine Ausbiegung in den rechten Ventrikel [12]. Ein weiterer, wesentlicher Vorteil der Methode ergibt sich aus der häufig unspezifischen Klinik der Patienten. Während die szintigraphischen und angiographischen Verfahren primär auf den Embolienachweis fokussieren, können mit der CT auch alternative Diagnosen wie beispielsweise Pneumonien, Tumoren, Oberbauchprozesse zusätzlich zu oder statt einer LE abgebildet werden [13].

Akutes Aortensyndrom

Im klinischen Alltag ist die MSCT in vielen Zentren Untersuchungsverfahren der ersten Wahl zur Abklärung aku-

ter Aortenpathologien. Plötzlich auftretender Schmerz wird als klinisches Zeichen angeführt. Meist liegen zusätzlich ein schlecht eingestellter Hypertonus oder eine bekannte Bindegewebeerkrankung vor (Marfan, Ehlers-Danlos). Diese sind die Basis für intramurale Hämatome, Dissektionen und Aortenaneurysmata und -rupturen. Die MSCT gilt als Goldstandard zur nichtinvasiven Abklärung dieser Fragestellungen. Allerdings ist die Pathologie in der Regel nicht auf die thorakale Aorta beschränkt; so ist beispielsweise eine Abbildung der iliakalen und femoralen Strombahn, auch im Hinblick auf eine eventuelle endovaskuläre Therapieoption, gefordert. Weitere Vorteile einer kombinierten Abklärung der thorakalen und abdominalen Aorta sind eine nur einmalige Kontrastmittelapplikation sowie die vollständige Abbildung dieser funktionellen Einheit in einer Untersuchung.

Auch hierbei gilt, dass dies bereits mit 4-Schicht-Scannern unter Anwahl entsprechender Akquisitionsparameter technisch umgesetzt werden kann und mit 16-Schicht-Geräten die Abklärung in Submillimeterkollimation während einer Atemanhaltephase möglich ist.

Eine EKG-Synchronisation vermindert die Problematik fortgeleiteter Herzpulsationen, was insbesondere bei Dissektionen, auch in Abhängigkeit von der jeweiligen Herzphase (Diastole, Systole) und dem damit verbundenen Füllungszustand im wahren und falschen Lumen hilfreich sein kann.

Allerdings wird das Untersuchungsvolumen in der z-Achse speziell für ≤ 16 -Schicht-Scanner durch die niedrige Tischvorschubgeschwindigkeit limitiert. So benötigt man für 30 cm Scanlänge abhängig von der Herzfrequenz des Patienten mindestens 33 s, wobei dann auch entsprechende Atemartefakte zu erwarten sind.

Ein pragmatischer Ansatz sieht vor, für Fragestellungen, die dezidiert die Aorta ascendens betreffen, eine EKG-Synchronisation zu prüfen (■ **Abb. 2**). Unter Gesichtspunkten des Strahlenschutzes und praktischer Überlegungen hinsichtlich des Scanprotokolls, insbesondere der Scanlänge, sind in der Regel alle klinischen Fragestellungen, die den Aortenbogen, die Aorta descendens sowie die abdominelle Aorta betreffen, auch oh-

Radiologe 2009 · 49:492–500 DOI 10.1007/s00117-008-1806-7
© Springer Medizin Verlag 2009

J.E. Wildberger · T. Leiner · A.H. Mahnken
MSCT bei thorakalen Notfällen

Zusammenfassung

Die Weiterentwicklung der Mehrschichtspiralcomputertomographie (MSCT) mit EKG-Synchronisation ermöglicht differenzierte Untersuchungsprotokolle zur Abklärung unklarer thorakaler Schmerzereignisse, erfordert jedoch aufgrund der gegenüber einer herkömmlichen CT des Thorax ca. 3-fach höheren Strahlenexposition eine enge Indikationsstellung. Fragestellungen, die isoliert die Lungengefäße, den Aortenbogen bzw. die deszendierende Aorta betreffen, können meist bereits mit einem Standard-CT-Datensatz beantwortet werden, für Pathologien der Aorta ascendens und zum Ausschluss einer koronaren Herzerkrankung (KHK) ist eine Submillimeterkollimation mit EKG-Synchronisation hingegen unerlässlich. Erste Studienergebnisse bescheinigen der MSCT bei der Abklärung des akuten Thoraxschmerzes ho-

he negative prädiktive Vorhersagewerte. Mit der neuesten Scannergeneration ist eine medikamentöse Vorbereitung der Patienten, mit Ausnahme einer sublinguale Nitroglycerin-gabe, nicht mehr nötig. Die erforderliche zeitgleiche Kontrastierung von Pulmonalarterien, der thorakalen Aorta und der Herzkranzgefäße stellt jedoch hohe Anforderungen an die Kontrastmittelapplikation.

Ob die Methode sich auch unter evidenzbasierten Gesichtspunkten weiter durchsetzen wird und kosteneffizient ist, bleibt weiteren prospektiven Studien vorbehalten.

Schlüsselwörter

Akuter Thoraxschmerz · Lungenembolie · Aortenpathologie · Koronare Herzerkrankung (KHK) · „Triple-rule-out“-Protokoll

Multidetector-row spiral computed tomography in chest emergencies

Abstract

With ongoing advances in multidetector-row computed tomography (MDCT) using ECG gating, differentiated examination protocols have become technically feasible. For acute chest pain assessment a strict triage of patients is indispensable, as the radiation dose is approximately 3 times higher for a dedicated protocol compared to a standard chest MDCT. Clinical requests considering pathologies of the pulmonary arteries, the aortic arch and the descending aorta can safely be answered with a standard CT data set. However, for the coronary arteries as well as for the ascending aorta, ECG synchronization of the data set is required. Initial reports regarding MDCT assessment for acute chest pain report a high negative predictive value. With the lat-

est MDCT platforms available, medical preparation is no longer necessary with the exception of sublingual application of nitroglycerine. Dedicated contrast injection protocols, however, are necessary for simultaneous opacification of the pulmonary arteries as well as of the aorta and the coronary arteries.

Further prospective studies will have to provide more evidence-based data for acute chest pain assessment with MDCT and will also have to outline the cost-effectiveness of this imaging technique.

Keywords

Acute chest pain · Pulmonary embolism · Aortic pathology · Coronary artery disease · Triple rule-out protocol

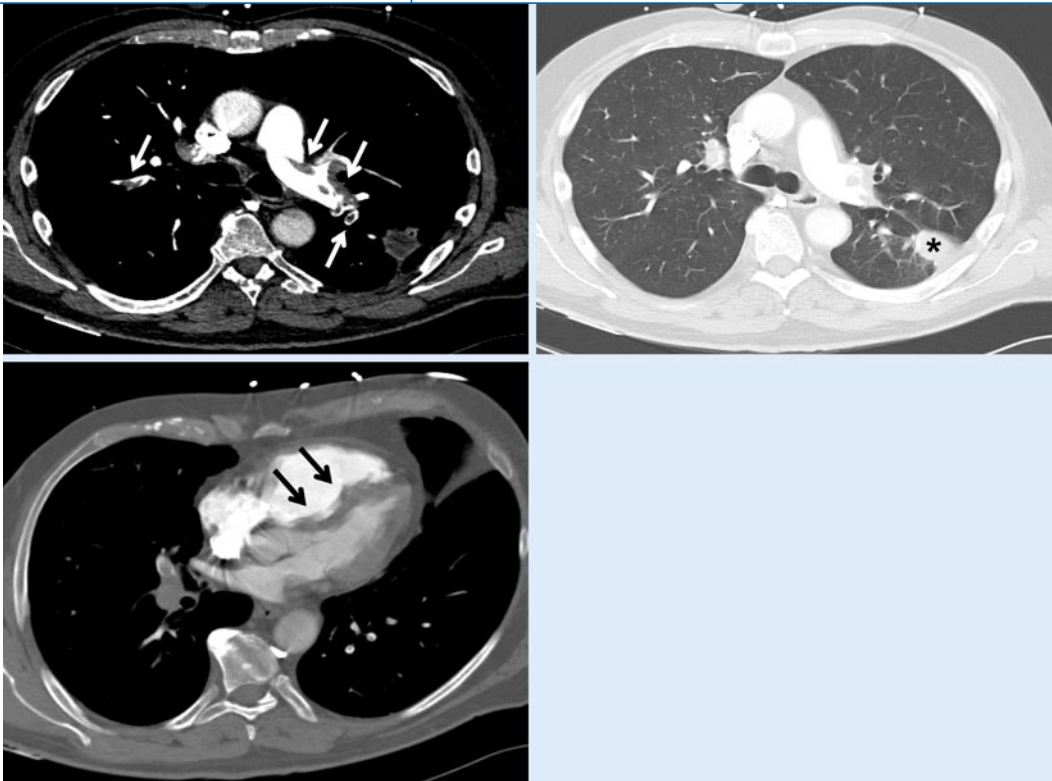


Abb. 1 ◀ Ausgedehnte zentrale und segmentale Lungenembolie (weiße Pfeile) mit nachgeschaltetem pleuraständigem Infiltrat im linken Unterlappen (Asterix). Zusätzliche Zeichen der Rechtsherzinsuffizienz mit paradoxer Septumbeweglichkeit (schwarze Pfeile)

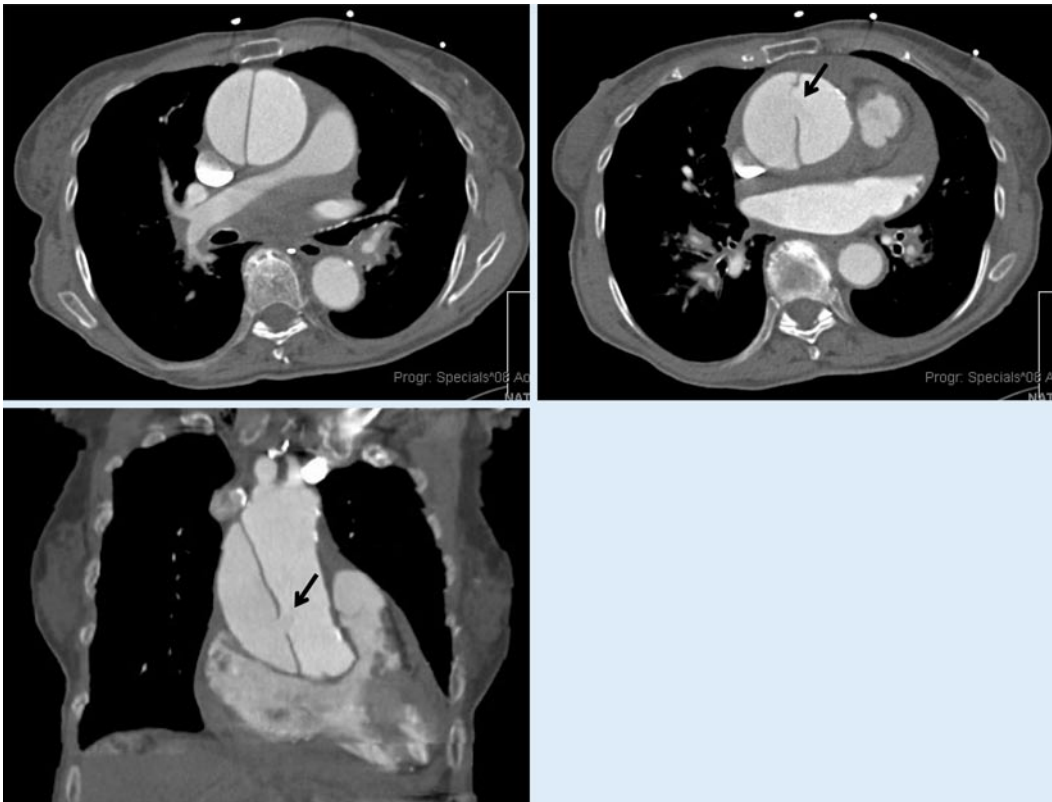


Abb. 2 ◀ Retrospektiv gegateter Datensatz zur Darstellung der Aorta ascendens. Nachweis einer Aortendissektion Grad Stanford A mit Nachweis einer Kommunikation zwischen wahren und falschem Lumen (sog. „entry“, Pfeile)

ne EKG-Synchronisation zu beantworten (▣ **Abb. 3**).

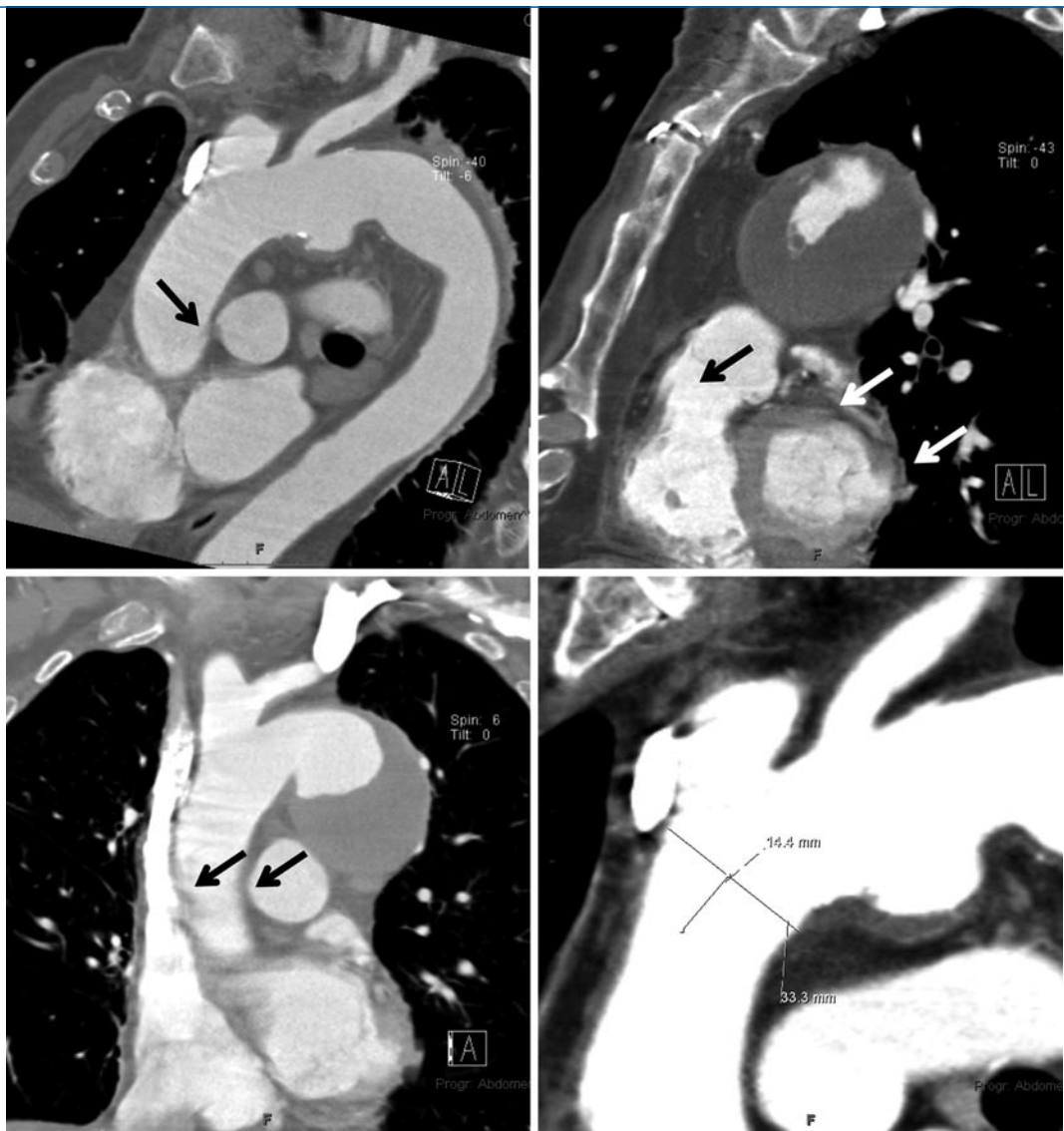
Grundsätzlich hat sich die CTA als verlässliches und akkurates Verfahren für aortale Fragestellungen bewährt und

ist speziell unter Notfallbedingungen die Methode der Wahl [14, 15].

Bei einer EKG-Synchronisation unterscheidet man prinzipiell 2 verschiedene Techniken: Bei der prospektiven Trigge-

rung (sog. „Step-and-shoot“-Technik) erfolgt eine sequenzielle Datenakquisition (im Idealfall in der Ruhephase des Herzens). Der Zeitpunkt des Scans wird zuvor vom Anwender festgelegt, hierzu er-

Abb. 3 ▶ Gedeckte thorakale Aortenruptur mit ausgedehntem frischem Wandhämatom. Diese Untersuchung mit einer Standarddatenakquisition an einem 16-Schicht-Scanner ermöglicht eine genaue Beurteilung der anatomischen Verhältnisse mittels individuell angepasster Nachverarbeitung, z. B. anhand parasagittaler und parakoronarer multiplanarer Reformationen (MPR). Auch ohne EKG-Abgleich des Datensatzes sind nahezu keine fortgeleiteten Herzpulsationen im Aortenbogen und in der deszendierenden thorakalen Aorta sichtbar. Lediglich im Bereich der Aorta ascendens und kardial finden sich einzelne Pulsationsartefakte (Pfeile)



folgt eine semiautomatische Vorhersage des optimalen Zeitpunkts anhand des bis dato aufgezeichneten EKGs. Das retrospektive Gating erlaubt hingegen eine nachträgliche Bildrekonstruktion eines akquirierten Spiraldatensatzes. Durch die überlappende Datenakquisition mit extrem niedrigen Pitchwerten ist so eine Rekonstruktion zu jedem Zeitpunkt der Herzphase und damit ein direkter Bezug zum EKG des Patienten möglich, allerdings auf Kosten einer höheren Strahlenexposition.

Ausschluss KHK

Die Indikationsstellung zur Untersuchung erfordert ein Umdenken von Zuweisern und Radiologen, da es primär um den *Ausschluss* einer signifikanten

KHK, insbesondere bei Patienten mit einer niedrigen Prätestwahrscheinlichkeit, geht [■ **Abb. 4, 5**].

Ein retrospektiver gegateter Datensatz ist nach heutigem Stand der Literatur erforderlich, ggf. kann diese Ausschlussdiagnostik in naher Zukunft auch durch prospektiv getriggerte Datensätze erfolgen [16].

Eine Kombinationsuntersuchung zur Analyse des Lungenparenchyms, der Gefäßdarstellung des Brustkorbs sowie der Koronarien und des Herzens ist mit der neuesten Scannertechnologie auch außerhalb spezialisierter Zentren möglich (256-Schicht-, 320-Schicht-MSCT; Dual-source-Technologie [17, 18]). Die minimale räumliche Auflösung beträgt in allen 3 Raumebenen jeweils ca. 0,5–0,6 mm, die zeitliche Auflösung 83–180 ms bei Detek-

torbreiten von 1,9–16 cm. Kritisch bleibt weiterhin die minimale zeitliche Auflösung kleinster bewegter Strukturen wie der Koronarien: Diese ist selbst mit modernsten Scannern (im Vergleich zu den Ruhezeiten des Herzens) immer noch limitiert [19]. Der Einsatz von Betablockern ist erforderlich, um die Herzfrequenz auf etwa 60–65 Schläge/min zu beschränken. Unter echten Notfallbedingungen ist andererseits nicht immer genug Zeit, um eine solche vergleichsweise zeitintensive Prämedikation vorzunehmen, und es sind die üblichen Kontraindikationen für eine Betablockergabe zu berücksichtigen (z. B. dekompensierte Herzinsuffizienz, starke Hypotonie, Bradykardie, AV-Block >1. Grades, Asthma bronchiale).

Für eine kombinierte Abklärung kommen insbesondere Patienten mit einer in-

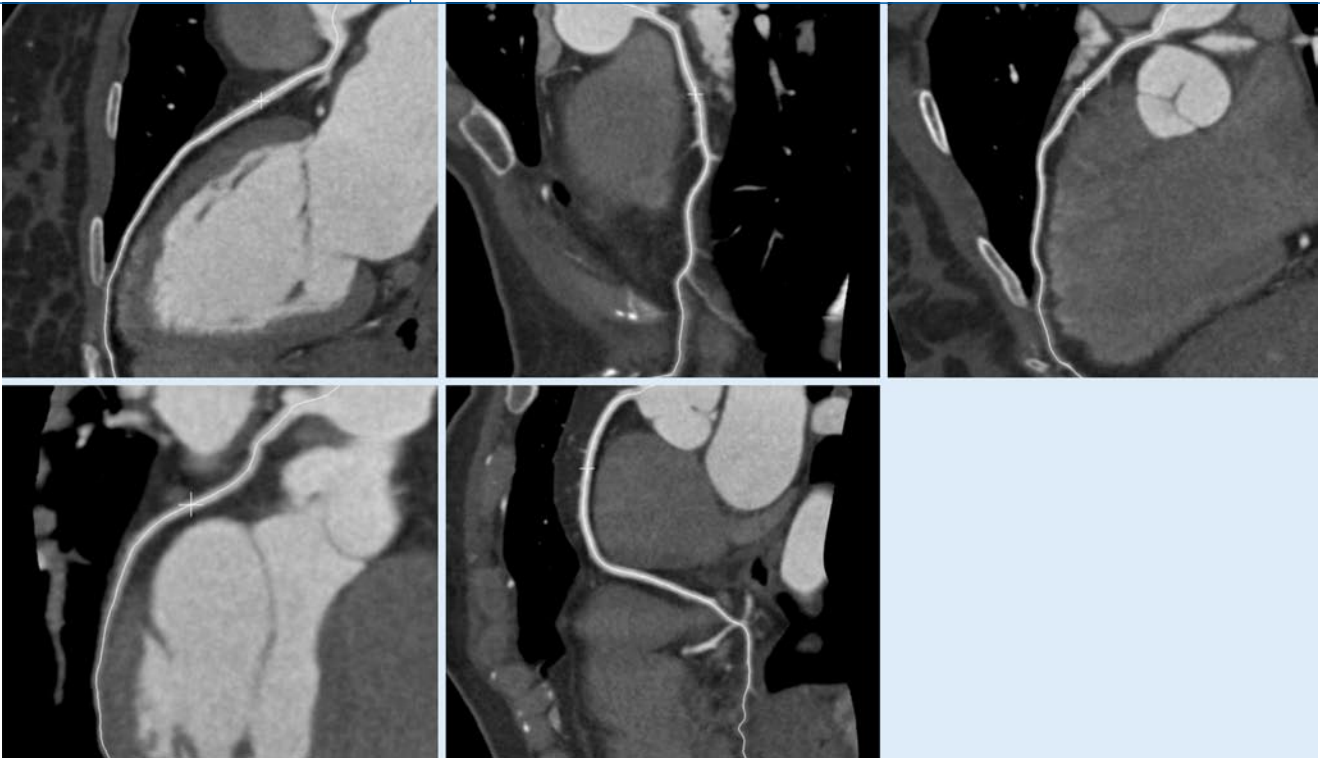
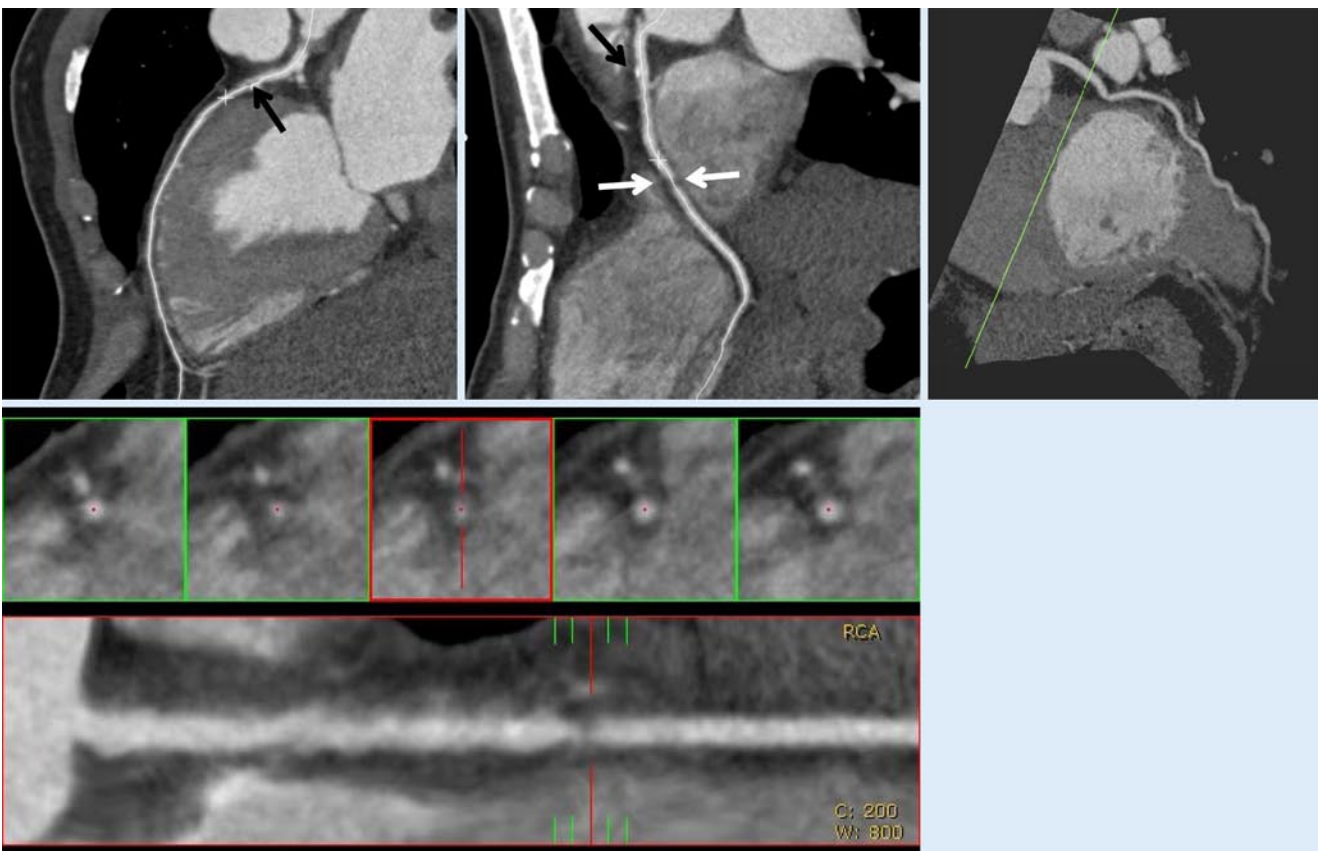


Abb. 4 ▲ 38-jährige weibliche Patientin mit Schwindel und akutem Thoraxschmerz. Ausschluss einer hämodynamisch relevanten KHK. Unauffällige Darstellung der Koronararterien (<65 Schläge/min). *Obere Reihe: LAD, untere Reihe links LCX, rechts RCA. LAD* „left anterior descending artery“ – R. interventricularis anterior der A. coronaria sinistra, *LCX* „left circumflex coronary artery“ – R. circumflexus der A. coronaria sinistra, *RCA* „right coronary artery“ – A. coronaria dextra



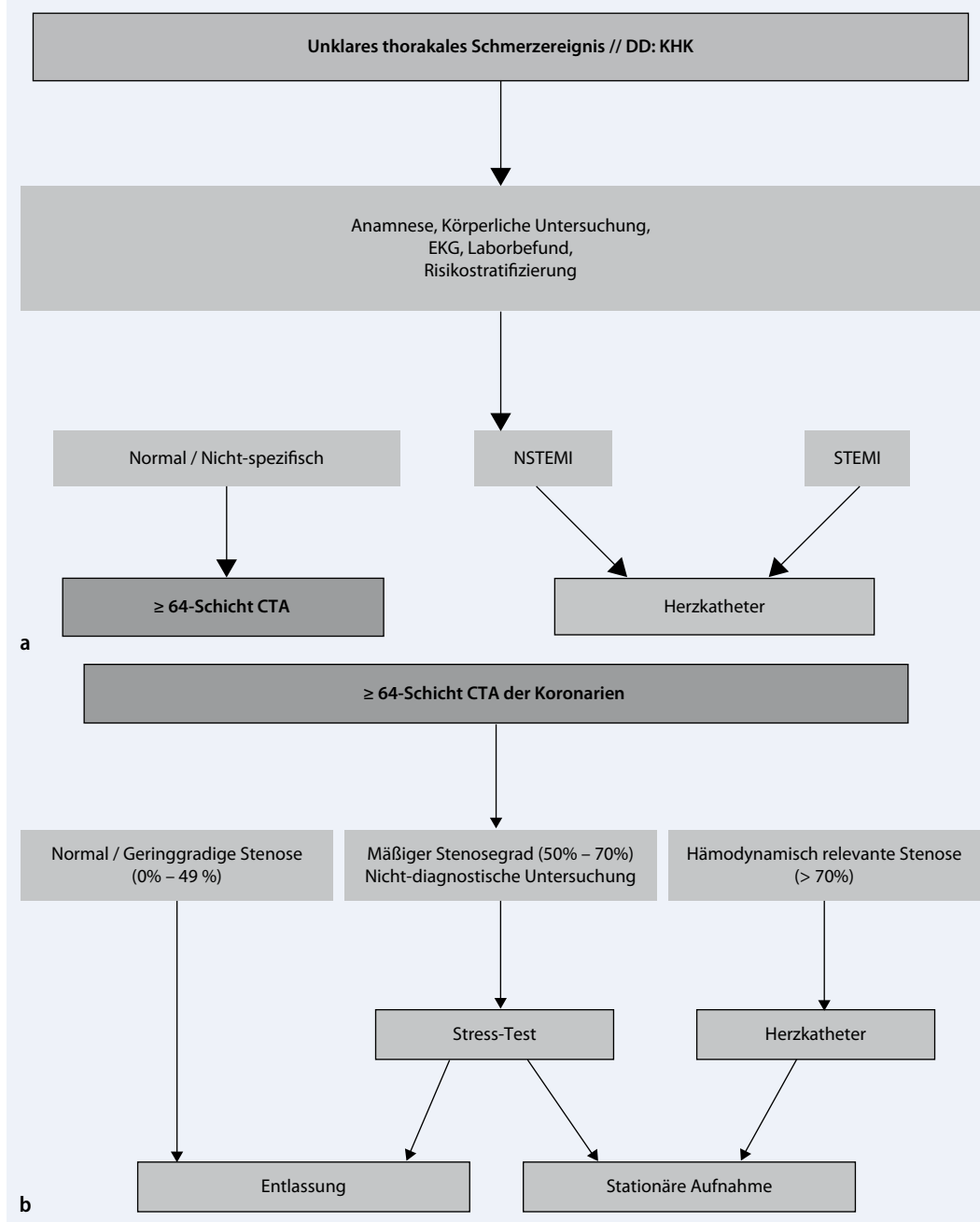


Abb. 6 **a** Flussdiagramm für Patienten mit einem unklaren thorakalen Schmerzereignis, bei denen eine KHK differenzialdiagnostisch zu berücksichtigen ist. Für Patienten mit einer bekannten KHK bzw. einer hohen Pre-test-Wahrscheinlichkeit ist eine Herzkatheteruntersuchung in Interventionsbereitschaft empfohlen. Bei nichtspezifischen Symptomen und Befunden kann eine MSCT-Angiographie der Koronarien zum Ausschluss einer KHK erfolgen. **b** Abhängig von den Ergebnissen der koronaren CTA kann der Patient entweder entlassen werden (Ausschluss einer relevanten KHK) oder sollte beim Nachweis einer hämodynamisch relevanten Stenose für eine weiterführende Diagnostik und evtl. Therapie (stationär) aufgenommen werden. Bei nichtdiagnostischen Untersuchungen oder inkonklusivem Ergebnis wird ein weiterführender Stress-test angeraten. (Mod. nach [21]). *NSTEMI*, „non-ST-segment elevation myocardial infarction“, *STEMI*, „ST-segment elevation myocardial infarction“

Abb. 5 **a** 68-jährige weibliche Patientin mit Myelofibrose. Im Rahmen der initialen Tumorabklärung wurden subjektive AP-Beschwerden geäußert. *Obere Reihe links* LAD, *Mitte* RCA, *rechts* LCX; *untere Reihe*: RCA. Nachweis einer mäßiggradigen Stenose der RCA im mittleren Abschnitt (*weiße Pfeile*, 50–70%). Zusätzlich Nachweis einzelner, hämodynamisch nicht relevanter Koronarkalkifikationen in der LAD und RCA (*schwarze Pfeile*). Unauffällige Darstellung des LCX (<65 Schläge/min). Konservative Therapie. *AP* Angina pectoris, *RCA* „right coronary artery“ – A. coronaria dextra, *LAD* „left anterior descending artery“ – R. interventricularis anterior der A. coronaria sinistra, *LCX* „left circumflex coronary artery“ – R. circumflexus der A. coronaria sinistra

termediären Pre-test-Wahrscheinlichkeit für eine KHK in Frage [20]. Vor kurzem wurde hierzu ein Flussdiagramm in einem Konsensuspapier der North American Society of Cardiac Imaging und der European Society of Cardiac Imaging vorgestellt [21]. Demnach ist die MSCT speziell dann sinnvoll, wenn es um einen Ausschluss einer KHK bei Patienten mit normalen bzw. inkonklusiven Laborbefunden und negativem EKG geht, bei denen klinisch weiterhin der Verdacht auf eine KHK besteht (**Abb. 6a, b**). Andererseits ist es ebenfalls wichtig zu betonen, dass die CTA der

Koronarien keinen Informationsgewinn bei Patienten mit bereits bekannter KHK oder einer hohen Pre-test-Wahrscheinlichkeit bietet [22].

Kontrastmittelapplikation

Die Kontrastmittelgabe und speziell das Kontrastmitteltiming sollten an die verschiedenen Differenzialdiagnosen, die beantwortet werden müssen, angepasst werden. Für die Abklärung des unklaren Thoraxschmerzes ist zu berücksichtigen, dass sich durch die EKG-Synchronisati-

Tab. 1 CT-Protokolle für unterschiedliche Klassen von MSCT-Scannern zur „Standard“-Notfalluntersuchung thorakaler Fragestellungen – Akquisitionsparameter inkl. Kontrastmittelapplikation und Rekonstruktionsparameter

CT-Scanner	10- bis 16-Schicht-Scanner	32- bis 64- bzw. >64-Schicht-Scanner	Dual-source-CT
Untersuchungsparameter „Standard“-CTA			
Röhrenspannung (kV)	(100)–120	(100)–120	(100)–120
Röhrenstrom-Zeit-Produkt (mAs _{eff.})	80–120 ^a	80–120 ^a	80–120 ^a
Rotationszeit (s)	0,4–0,5	0,27–0,5	0,33
Detektorkollimation (mm)	0,75–1,25	0,5–0,625	0,6
Normalisierter Pitch	0,9–1,5	0,9–1,2	0,8–1,2
Untersuchungsgebiet	Supraaortale Gefäßabgänge bis Zwerchfellkuppe/mittlere Atemanhaltephase		
Scanrichtung	Kraniokaudal/kaudokraniel		
Scanphase	Arteriell		
EKG-Synchronisation	Gegebenenfalls ≥16-Schicht-Scanner für Fragestellungen der Aorta ascendens ≥64-Schicht-Scanner für kardiale Fragestellungen (s. Tab. 2)		
Kontrastmittelprotokoll^b			
Jod-Applikationsrate (g/s)	1,3–1,5	1,3–1,5	1,3–1,5
Konzentration (mg Jod/ml)	300–400	300–400	300–400
Volumen (ml)	80–120	80–120	80–120
Injektionsrate (ml/s)	3,2–4,3	3,2–4,3	3,2–4,3
0,9%iges NaCl (ml; ml/s)	50; 3,2–4,3	50; 3,2–4,3	50; 3,2–4,3
Verzögerung (s)	Abhängig von der Bolusverfolgung – Bolustriggerung plus 6 s (Schwellwert 150 HE, ROI im Truncus pulmonalis [Frage nach LE], Aorta ascendens [Aortenfragestellung]) – oder Testbolus		Abhängig von der Bolusverfolgung – Bolustriggerung plus 7 s (Schwellwert 180 HE, ROI im Truncus pulmonalis [Frage nach LE], Aorta ascendens [Aortenfragestellung]) – oder Testbolus
Rekonstruktionsparameter			
Schichtdicke (mm), primär axial	3/1,0–1,5	3/0,75–1,5	3/0,75
Rekonstruktionsinkrement (mm)	2/0,7–1,0	2/0,5–1,0	2/0,5
Faltungskern	Weichteil, ggf. ergänzender scharfer Faltungskern für das Lungenparenchym und knöcherne Strukturen		
Primärrekonstruktionen axial	„Dicke“ axiale Übersichtsschichten (Weichteil/Lunge/Knochen), ggf. „dünne“ axiale Schichten (z. B. für LE)		
Sekundärrekonstruktionen	Ergänzende Rekonstruktionen aus dem dünn rekonstruierten Datensatz in der bevorzugten Raumbene (z. B. parasagittal als 3/2-mm-MPR)		
^a Sollte an das Körpergewicht des Patienten angepasst werden.			
^b Zugang 18–20 G, Kontrastmittel auf 37°C anwärmen.			
ROI „region of interest“, LE Lungenembolie, MPR multiplanare Reformation.			

on noch verhältnismäßig lange Untersuchungszeiten ergeben (ca. 20 s). Weiterhin sollten sowohl die pulmonale als auch die Aortenstrombahn gut, d. h. mit einem Zielwert von 300 HE, kontrastiert sein. Die Kontrastmittelgabe sollte über einen längeren Zeitraum erfolgen (ca. 30 s), eine individuelle Anpassung der Flussrate (z. B. in Abhängigkeit vom Körpergewicht) kann zusätzlich erfolgen. Eine Jodapplikationsrate von 1,5 g/s und mehr ist hierbei wünschenswert, ein 18-G-Zugang daher erforderlich.

Die individuelle Anpassung der Kontrastmittelgabe ist neben der Regulation der Herzfrequenz des Patienten die größte Fehlerquelle der Untersuchung. Die individuelle Anpassung kann entweder über einen Testbolus oder mit einer ROI- (Region-of-interest-)Messung in der Aor-

ta ascendens erfolgen. Doppelkopf-Powereinjektoren sind hierbei sinnvoll, um auch einen NaCl-Bolus ergänzend einsetzen zu können. Ein solches Vorgehen ermöglicht auch unter Notfallbedingungen eine adäquate Bildqualität. Kontrastmittelprotokolle für die Abklärung des akuten Thoraxschmerzes können noch weiter verfeinert werden, beispielsweise über bi- und multiphasische Injektionsprotokolle sowie eine körperrgewichtsadaptierte Anpassung der Injektionsraten und des Gesamtvolumens bei gleich bleibender Injektionszeit [23, 24].

Eine hohe Jodapplikationsrate kann mit verschiedenen Jodkonzentrationen (in der Regel 300–400 mg Jod/ml) erzielt werden, lediglich eine Berechnung der Flussrate/des Gesamtvolumens in Bezug auf die gewünschte Jodapplikations-

rate ist notwendig. So wurden von Johnson et al. [25] 130 ml KM (370 mg Jod/ml) bzw. 160 ml (300 mg Jod/ml) bei einer Jodapplikationsrate von 1,7 g/s vorgeschlagen. Weiterhin sollte für eine Vasodilatation der Koronarien während der Datenakquisition eine Standardgabe von Nitroglycerin (GLN, 2 Hübe) sublingual unmittelbar vor der Untersuchung auf dem CT-Tisch erfolgen [19]. Das Atemkommando erfolgt dahingehend, dass eine tiefe Einatmung und damit die Effekte eines Valsalva-Manövers mit konsekutiv zerteiltem Kontrastmittelbolus in den Lungengefäßen vermieden werden. Ein solch kurzfristig verminderter Kontrast in den Pulmonalarterien wird pathophysiologisch über einen gesteigerten Rückfluss aus der V. cava inferior zum rechten Her-

Tab. 2 CT-Protokolle für unterschiedliche Klassen von MSCT-Scannern zur Notfalluntersuchung thorakaler Fragestellungen mit EKG-Synchronisation des Datensatzes – Akquisitionsparameter inkl. Kontrastmittelapplikation und Rekonstruktionsparameter

CT-Scanner	10- bis 16-Schicht-Scanner	32- bis 64- bzw. >64-Schicht-Scanner	Dual-source-CT
Untersuchungsparameter mit EKG-Synchronisation^a			
Röhrenspannung (kV)	120	120	120
Röhrenstrom-Zeit-Produkt (mAs _{eff.})	550	300–600	360 mAs/rot.
Rotationszeit (s)	0,37–0,5	0,27–0,42	0,33
Detektorkollimation (mm)	0,75–1,25	0,5–0,625	0,6
Normalisierter Pitch	0,25–0,32	0,2–0,5	0,2–0,5
Untersuchungsgebiet	Supraaortale Gefäßabgänge bis Zwerchfellkuppe/mittlere Atemanhaltephase		
Scanrichtung	Kraniokaudal/kaudokranial		
Scanphase	Arteriell		
EKG-Synchronisation ^b	≥16-Schicht-Scanner für Fragestellungen der Aorta ascendens ≥64-Schicht-Scanner für kardiale Fragestellungen Retrospektives Gating mit EKG-Dosismodulation		
Kontrastmittelprotokoll^c			
Jod-Applikationsrate (g/s)	ca. 1,5	ca. 1,6	ca. 1,7
Konzentration (mg Jod/ml)	300–400	300–400	300–400
Volumen (ml)	140–180	120–160	120–160
Injektionsrate (ml/s)	Abhängig von der Gesamtdauer des Scans (4–6 ml/s); ggf. körperrgewichtsadaptierte Anpassung der Jodapplikationsrate entsprechend einer Injektionsdauer von insgesamt 30 s		
0,9%iges NaCl (ml; ml/s)	30–50 ml, gleiche Injektionsrate wie oben		
Verzögerung (s)	Abhängig von der Bolusverfolgung (Schwellwert 150 HE, ROI in der Aorta ascendens) – oder Testbolus		Abhängig von der Bolusverfolgung (Schwellwert 180 HE, ROI in der Aorta ascendens) – oder Testbolus
Rekonstruktionsparameter			
Schichtdicke (mm), primär axial	3/1,0–1,5	3/0,75	3/0,75
Rekonstruktionsinkrement (mm)	2/0,7–1,0	2/0,5	2/0,5
Faltungskern	Weichteil, ggf. spezieller Kardiofaltungskern; ergänzender scharfer Faltungskern für das Lungenparenchym		
Archivierungsstrategie	„Dicke“ axiale Übersichts-schichten (Weichteil/Lunge/		
Primärrekonstruktionen axial (mm)	Bei kardialen Fragestellungen ergänzende Rekonstruktion in der besten Herzphase für die einzelnen Koronararterien		
Sekundärrekonstruktionen (Orientierung; mm), soweit relevant	Knochen), ggf. „dünne“ axiale Schichten (z. B. für LE)		
	Ergänzende Rekonstruktionen aus dem dünn rekonstruierten Datensatz in der bevorzugten Raumbene (MPR, MIP, VRT; z. B. parasagittal als 3/2-mm-MPR)		

^aEinschränkungen für 10- bis 16-Schicht-Scanner, s. u.; sog. „Triple-rule-out“-Protokoll nur für >64-Schicht-Scanner.

^bNeue schnelle Scanner ermöglichen auch den Einsatz der dosiseffizienten prospektiven EKG-Triggerung – diese ist jedoch z. Z. kein klinischer Standard für diese Fragestellung.

^cZugang 18 G, Kontrastmittel auf 37°C anwärmen.

ROI „region of interest“, LE Lungenembolie, MPR multiplanare Reformation, MIP Maximum-intensity-Projektionen, VRT Volume-rendering-Technik.

zen erklärt [26]. Eine mittlere Atemanhaltephase ist demnach ausreichend.

CT-Untersuchungsprotokolle

Fragestellungen, die isoliert die Lungengefäße, den Aortenbogen bzw. die deszendierende Aorta betreffen, können bereits mit einer herkömmlichen Datenakquisition, im Idealfall mit (Sub-)millimeterkollimation beantwortet werden (■ Tab. 1). Der Einsatz eines EKG-Abgleichs ist jedoch auf wirkliche Notfälle zu beschränken – z. B. mit der Differenzialdiagnose KHK bzw. akute Pathologie der Aorta ascendens (■ Tab. 2).

Fazit für die Praxis

Mit modernen MSCT-Scannern ist eine robuste und schnelle Abklärung des unklaren thorakalen Schmerzereignisses unter Notfallbedingungen technisch möglich. Speziell Scanner der neuesten Generation bieten eine gute Bildqualität selbst bei höheren Herzfrequenzen, sodass ggf. auf die Prämedikation mit Betablockern verzichtet werden kann [19]. Speziell für die Dual-source-CT liegen erste Studienergebnisse vor, die eine Sensitivität der Methode von 98% zur Ursachenfindung der klinischen Symptome und einen negativen prädiktiven Vorher-

sagewert von 100% für den Ausschluss einer KHK berichten [27]. Verbindliche Absprachen und strenge Indikationsstellungen gemeinsam mit den zuweisenden Kollegen sind insbesondere bei jüngeren Patienten aus Strahlenschutzgesichtspunkten erforderlich [28]. Gegebenenfalls können hier in naher Zukunft durch jüngste technologische Entwicklungen (thorakales Gating, DSCT-Akquisition mit höheren Pitchwerten, sequenzielle Snapshottechnik) noch weitere Verbesserungen erzielt werden [15, 17, 29]. Ob die MSCT/DSCT auch unter evidenzbasierten Gesichtspunkten überzeugt

bzw. für die Allgemeinheit kosteneffizient ist [30], bleibt Untersuchungen in weiteren prospektiven Studien vorbehalten, speziell wenn Patienten aufgrund einer negativen MSCT-/DSCT-Untersuchung ohne weitere Diagnostik (und Therapie) entlassen werden.

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. J.E. Wildberger

Department of Radiology, Maastricht University Medical Center (MUMC⁺),
P. Debyelaan 25, NL-6202 Maastricht,
Niederlande
j.wildberger@mumc.nl

Interessenkonflikt. Prof. Dr. Wildberger hat Honorare für Vorträge von Bayer Schering Pharma, GE Healthcare und Boston Scientific Medizintechnik GmbH bzw. Studienunterstützungen oder andere Drittmittel von Siemens Medical Solutions sowie Bayer Schering Pharma erhalten.
Dr. Leiner hat Honorare für Vorträge von Bayer Schering Pharma und GE Healthcare bzw. Studienunterstützungen oder andere Drittmittel von Bayer Schering Pharma erhalten.
Prof. Dr. Mahnken hat Honorare für Vorträge von Bayer Schering Pharma, GE Healthcare, Celon AG und Boston Scientific Medizintechnik GmbH bzw. Studienunterstützungen oder andere Drittmittel von Siemens Medical Solutions sowie Bayer Schering Pharma erhalten.

Literatur

- Gallagher MJ, Raff GL (2008) Use of multislice CT for the evaluation of emergency room patients with chest pain: the so-called „triple rule-out“. *Catheter Cardiovasc Interv* 71:92–99
- White CS, Kuo D, Kelemen M et al (2005) Chest pain evaluation in the emergency department: can MDCT provide a comprehensive evaluation? *AJR Am J Roentgenol* 185:533–540
- Vanhoeacker PK, Heijnenbroek-Kal MH, van Heste R et al (2007) Diagnostic performance of multidetector CT angiography for assessment of coronary artery disease: meta-analysis. *Radiology* 244:419–428
- Wildberger JE, Mahnken AH, Das M et al (2005) CT imaging in acute pulmonary embolism: diagnostic strategies. *Eur Radiol* 15:919–929
- Wells PS, Anderson DR, Rodger M et al (2000) Derivation of a simple clinical model to categorize patients probability of pulmonary embolism: increasing the models utility with the SimpliRED D-dimer. *Thromb Haemost* 83:416–420
- Ryu JH, Swensen SJ, Olson EJ, Pellikka PA (2001) Diagnosis of pulmonary embolism with use of computed tomographic angiography. *Mayo Clin Proc* 76:59–65
- Perrier A, Roy PM, Aujesky D et al (2004) Diagnosing pulmonary embolism in outpatients with clinical assessment, D-dimer measurement, venous ultrasound, and helical computed tomography: a multicenter management study. *Am J Med* 116:291–299
- Schoepf UJ, Savino G, Lake DR et al (2005) The age of CT pulmonary angiography. *J Thorac Imaging* 20:273–279
- British Thoracic Society Standards of Care Committee Pulmonary Embolism Guideline Development Group (2003) British Thoracic Society Guidelines for the management of suspected acute pulmonary embolism. *Thorax* 58:470–483
- Ghaye B, Remy J, Remy-Jardin M (2002) Non-traumatic thoracic emergencies: CT diagnosis of acute pulmonary embolism: the first 10 years. *Eur Radiol* 12:1886–1905
- Quiroz R, Kucher N, Schoepf UJ et al (2004) Right ventricular enlargement on chest computed tomography: prognostic role in acute pulmonary embolism. *Circulation* 109:2401–2104
- He H, Stein MW, Zalta B, Haramati LB (2006) Computed tomography evaluation of right heart dysfunction in patients with acute pulmonary embolism. *J Comput Assist Tomogr* 30:262–266
- Garg K, Sieler H, Welsh CH et al (1999) Clinical validity of helical CT being interpreted as negative for pulmonary embolism: implications for patient treatment. *AJR Am J Roentgenol* 172:1627–1631
- Willoteaux S, Lions C, Gaxotte V et al (2004) Imaging of aortic dissection by helical computed tomography (CT). *Eur Radiol* 14:1999–2008
- Yu T, Zhu X, Tang L et al (2007) Review of CT angiography of aorta. *Radiol Clin North Am* 45:461–483
- Knowles NG, Patel S, Kazerooni EA (2009) Cardiac CT for acute chest pain in the emergency department: advantages of prospective triggering. *Int J Cardiovasc Imaging* [e-pub]
- Rybicki FJ, Otero HJ, Steigner ML et al (2008) Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* 24:535–546
- Flohr TG, McCollough CH, Bruder H et al (2006) First performance evaluation of a dual-source CT (DSCT) system. *Eur Radiol* 16:256–268
- Achenbach S, Anders K, Kalender WA (2008) Dual-source cardiac computed tomography: image quality and dose considerations. *Eur Radiol* 18:1188–1198
- Leber AW, Johnson T, Becker A et al (2007) Diagnostic accuracy of dual-source multi-slice CT-coronary angiography in patients with an intermediate pretest likelihood for coronary artery disease. *Eur Heart J* 28:2354–2360
- Stillman AE, Oudkerk M, Ackerman M et al (2007) Use of multidetector computed tomography for the assessment of acute chest pain: a consensus statement of the North American Society of Cardiac Imaging and the European Society of Cardiac Radiology. *Eur Radiol* 17:2196–2207
- Meijboom WB, van Mieghem CA, Mollet NR et al (2007) 64-slice computed tomography coronary angiography in patients with high, intermediate, or low pretest probability of significant coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 50:1469–1475
- Johnson TR, Nikolaou K, Wintersperger BJ et al (2007) Optimization of contrast material administration for electrocardiogram-gated computed tomographic angiography of the chest. *J Comput Assist Tomogr* 31:265–271
- Litmanovitch D, Zamboni GA, Hauser TH et al (2008) ECG-gated chest CT angiography with 64-MDCT and tri-phasic IV contrast administration regimen in patients with acute non-specific chest pain. *Eur Radiol* 18:308–317
- Johnson TRC, Nikolaou K, Becker CR (2008) Vascular extended chest pain protocol. In: Seidensticker P, Hofmann L (eds) *Dual Source CT imaging*. Springer, Berlin Heidelberg New York, pp 132–139
- Wittram C, Yoo AJ (2007) Transient interruption of contrast on CT pulmonary angiography: proof of mechanism. *J Thorac Imaging* 22:125–129
- Johnson TR, Nikolaou K, Becker A et al (2008) Dual-Source CT for chest pain assessment. *Eur Radiol* 18:773–780
- White CS (2007) Chest pain in the emergency department: potential role of multidetector CT. *J Thorac Imaging* 22:49–55
- Kalender WA (2009) The basics of flash technology (oral paper). *Eur Radiol* 19 [suppl 1]:S528
- Ladapo JA, Hofmann U, Bamberg F et al (2008) Cost-effectiveness of coronary MDCT in the triage of patients with acute chest pain. *AJR Am J Roentgenol* 191:455–463