

Kardiologische CT-Bildgebung mit 8-cm-Abdeckung der Z-Achse

Einführung

In diesem Dokument werden die Vorteile eines CT-Systems mit 8-cm-Z-Achsen-Abdeckung beleuchtet. Der Einsatz der CT-Technologie in der kardiologischen Bildgebung hat an Bedeutung gewonnen und sich als klinische Standarduntersuchung bei unterschiedlichen kardiovaskulären Erkrankungen etabliert. Aufgrund ihrer hohen Empfindlichkeit und ihres guten negativen Vorhersagewertes wurde die Kardio-CT die nichtinvasive Modalität der Wahl zur Beurteilung von koronaren Herzkrankheiten (KHK) sowie deren Auswirkung auf die Herzfunktion und -perfusion.¹ Die Kardio-CT ist zudem nützlich bei der Quantifizierung von Koronarplaques, der Beurteilung von Stents bei In-Stent-Restenosen sowie bei der Planung von komplexen koronaren und strukturellen Interventionen wie einer Transkatheter-Aortenklappen-Implantation (TAVI).

Es gibt zahlreiche Herausforderungen bei der Bildgebung von Koronararterien. Diese Arterien sind in der Regel klein und weisen an ihren distalen Enden ein Kaliber von nicht mehr als etwa 1 mm auf. Diese kleinen Gefäße unterliegen zudem einer komplexen dreidimensionalen Bewegung während des Herzzyklus, die eine Hauptursache für Artefakte bei der Koronarbildgebung darstellt.^{2,3} Deshalb werden CT-Scanner mit einer ausreichenden Schnelligkeit benötigt, die die Herzanatomie erfassen, eine gute räumliche Auflösung zur Darstellung der kleinen Strukturen von Koronararterien bieten und schnelle Gantryrotationen ausführen

(d.h. eine ausgezeichnete zeitliche Auflösung haben, die für die Bildgebung von sich bewegenden Strukturen wichtig ist). Weitere Herausforderungen bei der Bildgebung von Koronararterien sind der Umgang mit Arrhythmien und Schwankungen der Herzfrequenzen während einer Untersuchung sowie Patienten mit hoher Herzfrequenz. Zudem können die Vielfalt der Patiententypen und die Gewährleistung einer konsistenten Bildqualität insbesondere bei adipösen Patienten, d.h. bei Patienten mit einem hohem Körper-Masse-Index (BMI), das Klinikteam vor Schwierigkeiten stellen.

Die CT Scanner von Philips bieten bei Herzsuntersuchungen im Axial- und Spiral-Betrieb eine Abdeckung der Z-Achse von 8 cm sowie eine Rotationsgeschwindigkeit von 0,27 s (standardmäßige zeitliche Auflösung von 135 ms bei Philips Step-and-Shoot Cardiac und zusätzliche Verbesserungen durch adaptive Multi-Segment-Rekonstruktion im Spiral-Modus). Die Systeme sind außerdem mit allen verfügbaren Philips Tools für die Dosismodulation ausgestattet. Die Bildqualität für jeden diagnostischen

Arbeitsschritt wird durch den DoseRight Index (DRI) für verschiedene Scanbereiche festgelegt, um eine optimale Strahlendosis für eine gleichbleibende Bildqualität in einer einzigen Erfassung und über mehrere Patienten hinweg zu gewährleisten. Bei retrospektiven Scanverfahren steht dem Anwender die Lösung Cardiac DoseRight zur Verfügung, mit der in den Phasen des EKG-Zyklus, die für die abschließende Bildbefundung nicht von Belang sind, die Strahlendosis reduziert werden kann.

Diagnostische Treffsicherheit

Die diagnostische Treffsicherheit (Empfindlichkeit, Spezifität, positive Prädiktionsfähigkeit [PPV] und negative Prädiktionsfähigkeit [NPV]) der Philips CT-Scanner mit 8 cm Abdeckung der Z-Achse bei segmentbasierten Koronaranalysen ist in Tabelle 1 aufgeführt. Die Werte wurden anhand den in der veröffentlichten Literatur nachzulesenden Daten mit der Treffsicherheit der Systeme anderer Anbieter verglichen.

Autor	Anbieter	Scanner	Punkte	HF (Schläge/min)	Kontrastmittel	Empfindlichkeit (%)	Spezifität (%)	PPV (%)	NPV (%)
Chao et al.	Philips	Brilliance iCT	104	65 (45–103)	60 ml	93,5	95	77,6	98,7
Liang et al.	GE	Revolution CT	64	82,5 (75–106)	50–60 ml	91,9	95,8	77,9	98,7
Albrecht et al.	Siemens	Somatom FORCE	60	78	86,6 ml	90,7	95,2	66,7	99
Song et al.	Canon	Aquilion ONE	381	61	100 ml	58	91	51	93

Tabelle 1 Vergleich der diagnostischen Treffsicherheit verschiedener Scanner

Wie der Tabelle zu entnehmen ist, ist die diagnostische Treffsicherheit der unterschiedlichen Anbieter auf Segmentebene gut vergleichbar.

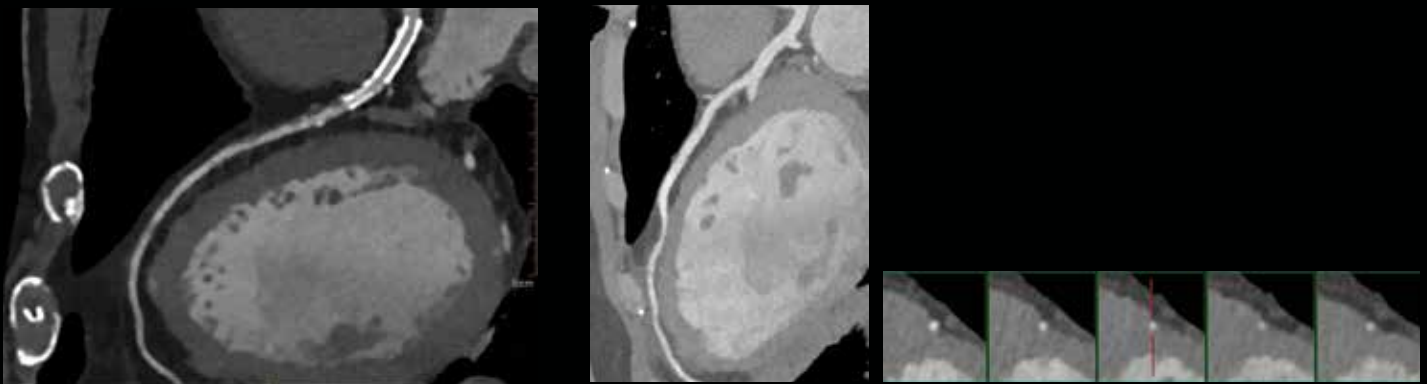
Interessant ist, dass die von Chao et al.⁴ durchgeführte Studie zu einem Philips System mit einer Abdeckung der Z-Achse von 8 cm 104 Patienten mit Herzfrequenzen im Bereich von 45 bis 103/min

umfasste. Die Studienteilnehmer hatten u.a. Vorhofflimmern, eine hohe Herzfrequenz, Adipositas, Bypässe sowie einen hohen Agatston-Calcium-Score. Die durchschnittliche in der Studie eingesetzte Kontrastmittelmenge betrug 60 ml und es kamen weder eine iterative Rekonstruktion noch eine Rekonstruktion mit Bewegungskompensation zur Anwendung.

Demgegenüber steht die Studie von Liang et al.⁵, an der 64 Patienten teilnahmen und die unter Verwendung von Methoden der Bewegungskompensation eine vergleichbare Treffsicherheit ergab. Die Einzelwerte der diagnostischen Treffsicherheit unter Bewegungskompensation (Korrektur von Bewegungen) beliefen sich auf 91,9% (Empfindlichkeit), 95,8% (Spezifität), 77,9% (PPV) und 98,7% (NPV).

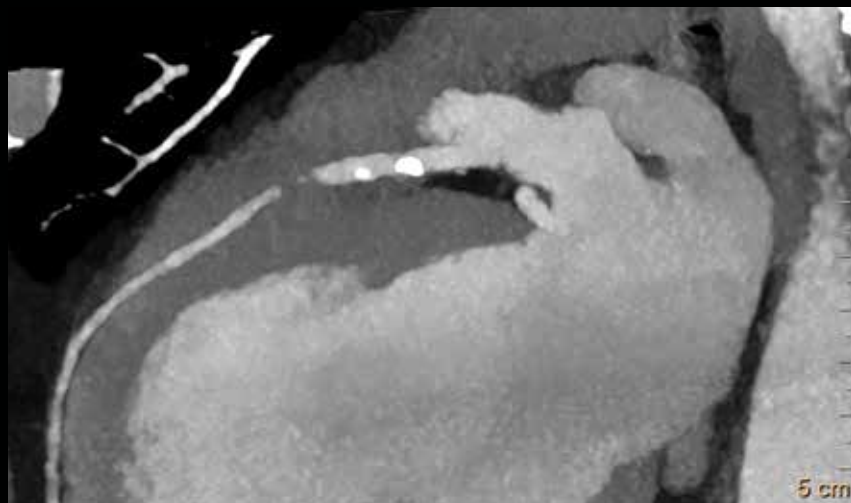
Ähnliches zeigt sich bei CCTA-Untersuchungen mit Systemen anderer Anbieter^{6,7}, deren diagnostische Treffsicherheit ebenfalls mit jener des Systems mit 8-cm-Z-Achsen-Abdeckung vergleichbar ist.

Abbildung 1 Herzaufnahmen des Scanners mit einer Abdeckung der Z-Achse von 8 cm, die pathologische Herzbefunde liefern



A Arteria coronaria dextra (RCA) mit gekrümmter multiplanarer Rekonstruktion (MPR) bei einem Stent-Patienten

B Gekrümmte MPR und Querschnitte des RIVAs mit Hervorhebung des intramyokardialen Segments und Befund einer Gefäßverengung



C Fokale Läsion im mittleren Segment des Ramus interventricularis anterior (RIVA)



Bildgebung bei **technisch herausfordernden Patienten**

Patienten mit **hohem BMI**

Bei adipösen Patienten liegt häufig eine koronare Herzkrankheit (KHK) im Frühstadium vor, sodass in vielen Fällen erweiterte kardiovaskuläre Untersuchungen und Eingriffe erforderlich sind.⁴ Die meisten nichtinvasiven Methoden der kardiologischen Bildgebung bieten bei diesem Patiententyp jedoch nur eingeschränkten Nutzen, obwohl Adipositas ein verbreiteter und rasch an Bedeutung gewinnender KHK-Risikofaktor ist.

In einer von Segev et al.⁸ zu einer Scanner-Plattform mit einer Z-Achsen-Abdeckung von 8 cm durchgeführten Studie wurde nachgewiesen, dass zwischen adipösen (39 Patienten, BMI > 30 kg/m²) und nicht adipösen Patienten (29 Patienten, BMI < 30 kg/m²) in Bezug auf die subjektive Bildqualität kein signifikanter Unterschied besteht. Die durchschnittliche Herzfrequenz lag bei beiden Gruppen bei 65/min. Auch im Hinblick auf die Verstärkung (HU-Werte) der linken Koronararterie sowie des proximalen Segments der rechten Koronararterie und beim Signal-Rausch-Verhältnis (SNR) und dem Kontrast-Rausch-Verhältnis (CNR) unterschieden sich die beiden Gruppen nicht signifikant, auch wenn der Rauschfaktor in der Adipositas-Gruppe etwas ausgeprägter ausfiel. Der Anteil der nicht befundbaren Koronarsegmente betrug in beiden Gruppen < 1%, wobei die Bildqualität in der Adipositas-Gruppe aufrechterhalten werden konnte. Die Studie belegt, dass Untersuchungen bei technisch herausfordernden Populationen mit einem Scanner mit einer Abdeckung von 8 cm ohne Einbußen bei der Gesamtbildqualität möglich sind.

Yoneyama et al.⁹ beschäftigten sich in einer Studie mit einem anderen Aspekt: den Auswirkungen von Bilderfassungseinstellungen und Patientenmerkmalen auf die Bildqualität und die Strahlendosis bei der Koronarangiographie mit einem CT-System mit 320-Zeilen-Detektor (Aquilion ONE). An der Studie nahmen 65 Personen teil (41 Männer, 24 Frauen) und sie widmete sich der Adäquatheit des CTA-Erfassungsprotokolls. Röntgenröhrenstrom, Expositionsfenster und Anzahl der Herzschläge pro Erfassung wurden dem Geschlecht, der Herzfrequenz und dem BMI der Patienten entsprechend angepasst. Die Bildqualität war bei Teilnehmern mit normalem BMI besser als bei übergewichtigen und adipösen Teilnehmern (optimale Bildqualität: normal 100,0%; übergewichtig 56,0%; adipös 30,8%; p < 0,001).

Die Genauigkeit von 64-Schicht-CCTAs fiel bei den adipösen Patienten niedriger aus⁸, ebenso wie die Spezifität und die positive Prädiktionsfähigkeit einer standardmäßigen Dual-Source-CCTA bei Patienten mit einem BMI von $> 26 \text{ kg/m}^2$.⁸ Mit Dual-Source-Scannern lässt sich zwar eine höhere Bildqualität erzielen, jedoch nur unter Anhebung der Strahlendosis.

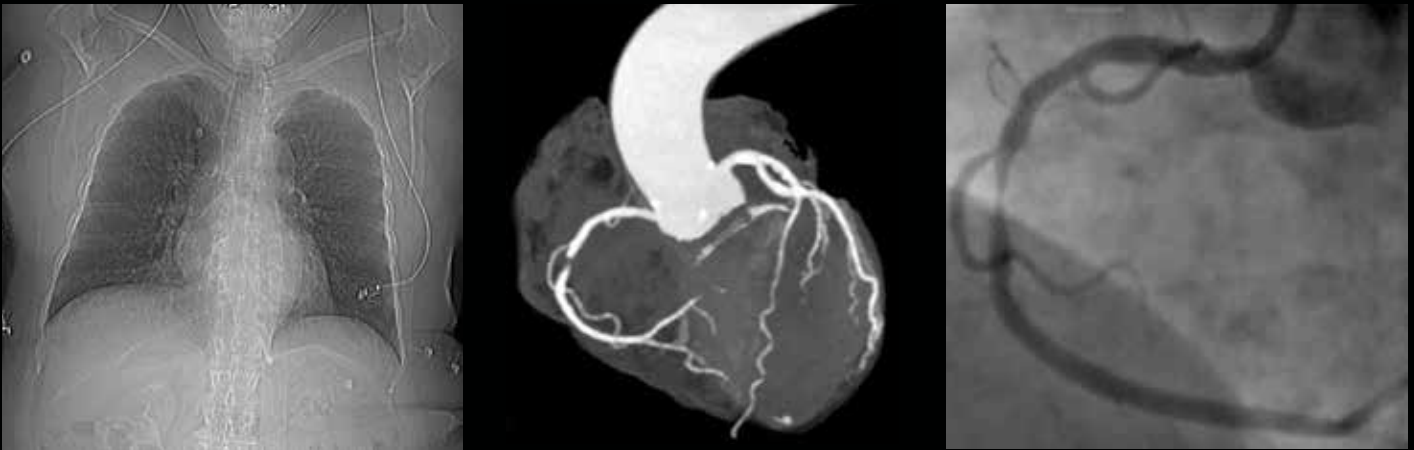


Abbildung 2 Adipöser Patient (BMI 50) mit angiographisch bestätigter nicht kalzifizierter RCA-Plaques; Scan mit Step-and-Shoot Cardiac und Philips IMR. **Scanparameter:** 100 kV, 327 mAs, CTDI_{vol} 17 mGy, DLP 211 mGy*cm

Patienten mit **unregelmäßiger** sowie **erhöhter Herzfrequenz**

Die CCTA liefert bei Patienten mit normalem Sinusrhythmus nachweislich Bilder in hoher diagnostischer Qualität. Bei Vorhofflimmern bleiben die Untersuchungen jedoch herausfordernd, da sich die Synchronisation von unregelmäßigen Herzschlägen und Bewegungen der Tisch-Gantry als schwierig erweist und auf den Aufnahmen häufig starke Bewegungsartefakte auftreten. Systeme mit einer Z-Achsen-Abdeckung von 8 cm und erweiterten kardiovaskulären Tools erleichtern die Bildgebung bei Patienten mit Arrhythmie und erhöhter Herzfrequenz.

Die Society of Cardiovascular Computed Tomography empfiehlt je nach den Anforderungen, die Scanner, Patientenfaktoren und Bildgebungsindikation mit sich bringen, die Anwendung von Betablockern. Bei CCTAs hat sich eine Zielherzfrequenz von maximal 60/min im Allgemeinen als geeignet erwiesen. Eine einzige geringe Dosis eines oralen Betablockers sollte erwogen werden, um Schwankungen der Herzfrequenz bei Patienten mit niedriger Ruherfrequenz zu mindern. Bei Patienten mit einer Ruherfrequenz von $< 60/\text{min}$ ist zwar keine Senkung der Herzfrequenz mittels Betablockern erforderlich, häufig wird jedoch die Ansicht vertreten, dass eine geringe Dosis Metoprolol der Minderung von Schwankungen der Herzfrequenz und der Bildqualität zuträglich sei.

Unter Berücksichtigung der geltenden Richtlinien wurde in mehreren Studien die Bildqualität der CCTA-Aufnahmen von Patienten mit erhöhter Herzfrequenz untersucht.

Chen et al.¹⁰ zeigten in einer Studie, dass sich die Bildqualität bei Patienten mit Arrhythmie nicht signifikant von jener von Personen mit normalem Sinusrhythmus unterscheidet, wenn das Detektorsystem mit 8-cm-Z-Achsen-Abdeckung zum Einsatz kommt. Zudem ergab die Studie, dass 99,7% bzw. 100% aller Segmentdarstellungen von Patienten mit Vorhofflimmern bzw. normalem Sinusrhythmus ausreichende Qualität für eine diagnostische Beurteilung aufwiesen. Daran lässt sich erkennen, dass derartige Detektorsysteme eine potenzielle Lösung für CCTAs bei Vorhofflimmern sind, sofern angemessene Zeit für die Rekonstruktion veranschlagt wird.

Gemäß einer Studie von Wang et al.¹¹ gab es bei Patienten mit erhöhter Herzfrequenz (HF > 90/min) im Vergleich zu Patienten mit niedriger Herzfrequenz (HF < 75/min) keine signifikanten Unterschiede bezüglich Empfindlichkeit und Spezifität bei befundbaren Segmenten.

Insgesamt unterzogen sich im Abstand von 3 bis 15 Tagen (Durchschnitt: 8 Tage) 100 Patienten einer CCTA sowie einer invasiven Koronarangiographie. Die HF lag bei den CT-Scans im Bereich von 39 bis 107/min. Die Patienten waren zuvor in drei HF-Gruppen eingeteilt worden: niedrige HF (n = 40 Patienten; HF < 75/min), mäßige HF (n = 35 Patienten; 75 ≤ HF < 90/min) und hohe HF (n = 25 Patienten; HF ≥ 90/min). Wie in Tabelle 2 zu sehen, erzielte das System hinsichtlich Erkennung und Ausschluss einer KHK eine hervorragende diagnostische Treffsicherheit.

Herzfrequenz-Gruppe	Empfindlichkeit (%)	Spezifität (%)
Niedrige HF (n = 40 Patienten; HF < 75/min)	95	98,4
Mäßige HF (n = 35 Patienten; 75 ≤ HF < 90/min)	93,7	96
Hohe HF (n = 25 Patienten; HF ≥ 90/min)	92,2	97,6

Tabelle 2 Empfindlichkeit und Spezifität hinsichtlich Erkennung und Ausschluss einer KHK gemäß Herzfrequenz

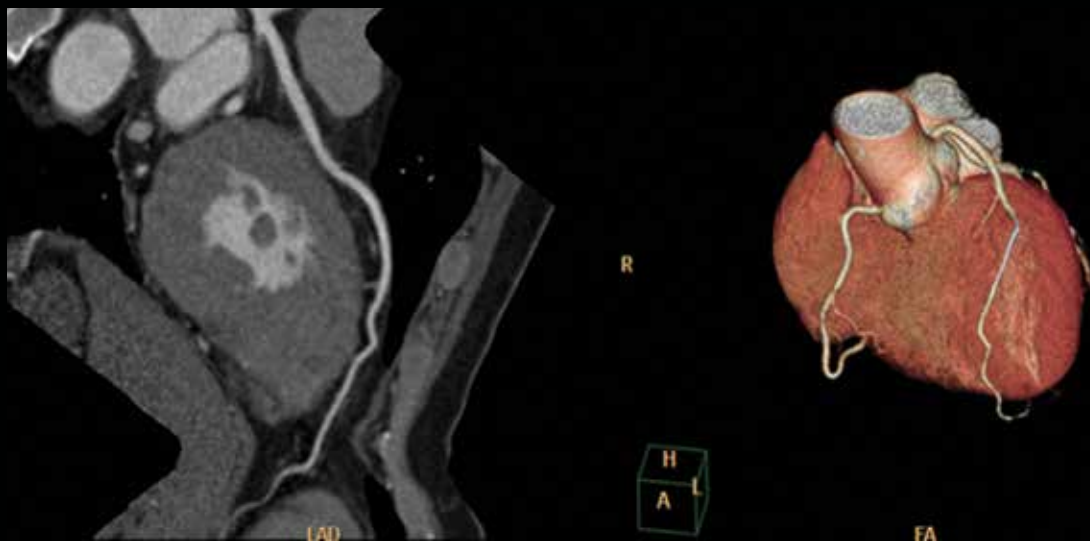


Abbildung 3A Ein Koronar-CCTA eines Patienten mit einer mittleren Herzfrequenz von 117/min zeigte, dass sowohl RCA als RIVA keine Auffälligkeiten aufweisen.

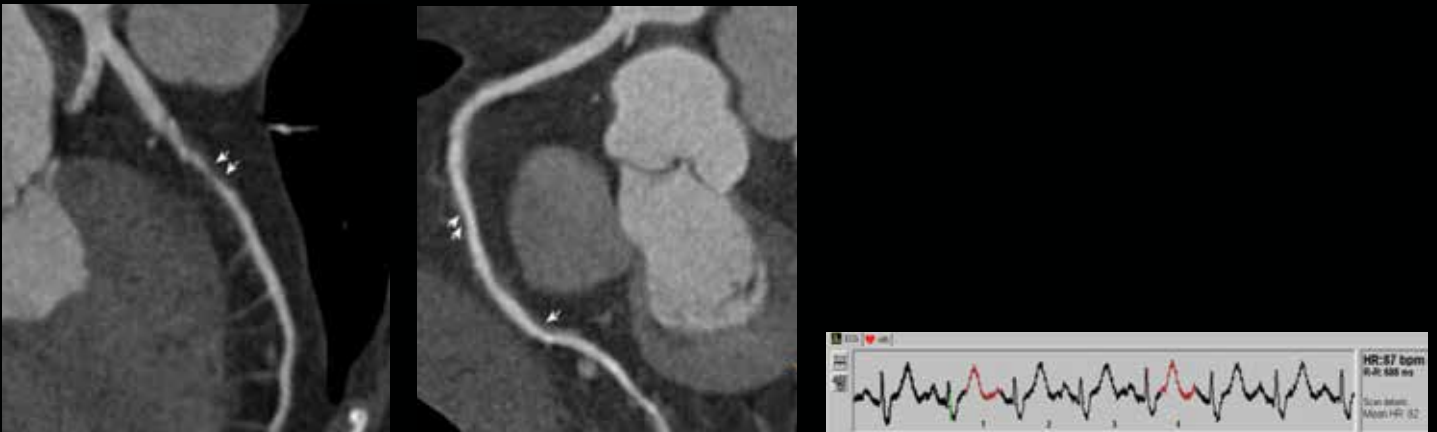


Abbildung 3B Nicht kalzifizierte Plaque in RCA und RIVA bei einem Patienten mit einer mittleren Herzfrequenz von 92/min; Scan mit Step-and-Shoot Cardiac

Strahlendosis

Dank des Einzugs verschiedener technologischer Weiterentwicklungen – wie der prospektiv getriggerten Axial-CCTA oder von iterativen Rekonstruktionstechniken – konnte die Strahlendosis bei CCTA-Verfahren signifikant gesenkt werden. Laut den Ergebnissen der Prospective Multicenter Study On Radiation Dose Estimates Of Cardiac CT Angiography In Daily Practice (PROTECTION) III fiel die geschätzte Strahlendosis bei einem prospektiv EKG-getriggerten Axialscan um 69% geringer aus als bei einem retrospektiv EKG-getriggerten Spiralscan. Das System mit einer Z-Achsen-Abdeckung von 8 cm war Teil dieser Studie, in der nachgewiesen wurde, dass die Dosis des CT-Systems von Philips geringer war als die der meisten Systeme anderer Anbieter.¹²

Fazit

Die Technologie von CT-Systemen mit einer Z-Achsen-Abdeckung von 8 cm weist nachweislich eine hervorragende diagnostische Treffsicherheit auf und ist in der Lage, bei einer Vielzahl von technisch herausfordernden Patiententypen (z.B. Vorhofflimmern, hoher BMI und hohe Herzfrequenz) KHK-Aufnahmen in diagnostischer Qualität zu liefern.

Literaturverweise

1. SCOT-HEART investigators. CT coronary angiography in patients with suspected angina due to coronary heart disease (SCOT-HEART): an open-label, parallel group, multicenter trial. *Lancet*. 2015;385:2383–2391.
2. Vembar M, Garcia MJ, Heuscher DJ, Haberl R, Matthews D, Böhme GE, Greenberg NL. A dynamic approach to identifying desired physiological phases for cardiac imaging using multislice spiral CT. *Med Phys*. 2003 Jul;30(7):1683–1693.
3. Vembar M, Walker MJ, Johnson PC. Cardiac imaging using multislice computed tomography scanners: technical considerations. *Coron Artery Dis*. 2006 Mar;17(2):115–123.
4. Chao SP, Law WY, Kuo CJ, Hung HF, Cheng JJ, Lo HM, Shyu KG. The diagnostic accuracy of 256-row computed tomographic angiography compared with invasive coronary angiography in patients with suspected coronary artery disease. *Eur Heart J*. 2010 Aug;31(15):1916–1923.
5. Liang J, Wang H, Xu L, Dong L, Fan Z, Wang R, Sun Z. Impact of SSF on Diagnostic Performance of Coronary Computed Tomography Angiography Within 1 Heart Beat in Patients With High Heart Rate Using a 256-Row Detector Computed Tomography. *J Comput Assist Tomogr*. 2018 Jan/Feb;42(1):54–61.
6. Albrecht MH, Nance JW, Schoepf UJ, Jacobs BE, Bayer II RR, Litwin SE, Reynolds MA, Otani K, Mangold S, Varga-Szemes A, De Santis D, Eid M, Apfaltrer G, Tesche C, Goeller M, Vogl TJ, De Cecco CN. Diagnostic accuracy of low and high tube voltage coronary CT angiography using an X-ray tube potential-tailored contrast medium injection protocol. *Eur Radiol*. 2018;28:2134–2142.
7. Song YB, Arbab-Zadeh A, Matheson MB, Ostovaneh MR, Vavere AL, Dewey M, Rochitte C, Niinuma H, Laham R, Schuijf JD, Cox C, Brinker J, di Carli M, Lima JAC, Miller JM. Contemporary Discrepancies of Stenosis Assessment by Computed Tomography and Invasive Coronary Angiography Analysis of the CORE320 International Study. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2019;12:e007720.
8. Segev OL, Gaspar T, Halon DA, Peled N, Domachevsky L, Lewis BS, Rubinshtein R. Image quality in obese patients undergoing 256-row computed tomography coronary angiography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2012 Mar;28(3):633–9. doi: 10.1007/s10554-011-9848-8.
9. Yoneyama K, Vavere AL, Cerci R, Ahmed R, Arai AE, Niinuma H, Rybicki FJ, Rochitte CE, Clouse ME, George RT, Lima JA, Arbab-Zadeh A. Influence of image acquisition settings on radiation dose and image quality in coronary angiography by 320-detector volume computed tomography: the CORE320 pilot experience. *A. Heart Int*. 2012 Jun 5;7(2):e11. doi: 10.4081/hi.2012.e11. Epub 2012 Jun 25.
10. Chen L-K, Hsu S-M, Mok GSP, Law W-Y, Lu K-M, Yang C-C, Wu T-H. 256-slice CT coronary angiography in atrial fibrillation: The impact of mean heart rate and heart rate variability on image quality. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A648*. 2011;S153–S157.
11. Wang G, Wu Y, Zhang Z, Zheng X, Zhang Y, Liang M, Yuan H, Shen H, Li D. Effect of heart rate on the diagnostic accuracy of 256-slice computed tomography angiography in the detection of coronary artery stenosis: ROC curve analysis. *Experimental and Therapeutic Medicine*. 2016;11:1937–1942.
12. Hausleiter J, Meyer TS, Martuscelli E, Spagnolo P, Yamamoto H, Carrascosa P, Anger T, Lehmkühl L, Alkadhi H, Martinoff S, Hadamitzky M, Hein F, Bischoff B, Kuse M, Schömig A, Achenbach S. Image quality and radiation exposure with prospectively ECG-triggered axial scanning for coronary CT angiography: the multicenter, multivendor, randomized PROTECTION-III study. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2012 May;5(5):484–493.

Andersen, MB, Ebbesen, D, Thygesen, J, et al. Impact of spectral body imaging in patients suspected for occult cancer: a prospective study of 503 patients. *Eur Radiol* (2020). <https://doi.org/10.1007/s00330-020-06878-7>

