

¹Burgstahler C, ²Brodofel H, ¹Nieß A, ²Claussen CD, ³Schröder S

Die kardiale Mehrzeilen-Computertomographie: Gibt es eine Indikation in Sportmedizin und Prävention?

Cardiac Computed Tomography: Is there any Indication in Sports Medicine and Prevention?

¹Universitätsklinik Tübingen, Abteilung Sportmedizin

²Universitätsklinik Tübingen, Abteilung für Diagnostische und Interventionelle Radiologie

³Klinikum am Eichert, Zentrum für Innere Medizin, Göppingen

ZUSAMMENFASSUNG

Das Interesse an neuen Bildgebungsverfahren wie der kardialen Computertomographie ist seit einigen Jahren unverändert hoch. Mit modernen Computertomographen kann innerhalb weniger Sekunden das gesamte Herz einschließlich der Herzkranzgefäße abgebildet werden. Dabei zeigte sich in einer Vielzahl von Studien, dass die Computertomographie vor allem zum Ausschluss signifikanter Koronarstenosen herangezogen werden kann. Hiervon können vor allem Patienten mit atypischen Beschwerden oder unspezifischen Befunden z. B. im Belastungs-EKG profitieren. Während die Darstellung und Beurteilung von koronaren Bypassgefäßen mit großer Genauigkeit gelingt, ist die Visualisierung von Stents auch mit den modernsten Gerätegenerationen oft limitiert. Im Gegensatz dazu ist die Darstellung des Verlaufs von Koronaranomalien mit der Computertomographie sehr zuverlässig möglich, was im Einzelfall die Durchführung einer Computertomographie rechtfertigt. Auch die Beurteilung der linksventrikulären Funktion ist möglich, wobei dies in erster Linie mit alternativen Bildgebungsmodalitäten, die ohne Strahlenbelastung auskommen, vorbehalten bleiben sollte. Die nicht-invasive Darstellung kardialer Plaques und deren Klassifizierung stellt eine weitere viel versprechende Möglichkeit zur Risikostratifizierung dar. Allerdings ist der prognostische Wert der CT lediglich für die Bestimmung des Koronarkalks belegt.

In der sportmedizinischen Beurteilung könnte die Computertomographie für ausgewählte Personen, bei denen der Verdacht auf das Vorliegen einer koronaren Herzerkrankung oder eine Koronaranomalie besteht, eine diagnostische Entscheidungshilfe darstellen. Ein unkritischer Einsatz der Methode sollte allerdings vor dem Hintergrund der Strahlenbelastung unterbleiben.

Schlüsselwörter: Computertomographie, Screening, Koronarkalk, Indikation

EINLEITUNG

Seit Einführung Mehrzeilen-Detektor-Computertomographie (MDCT) im Jahr 1999 erfuhr diese Methode eine rasche Verbreitung in der nicht invasiven Herzbildgebung. Computertomographen der neuesten Generation ermöglichen eine Darstellung des Herzens und der Herzkranzgefäße innerhalb weniger Sekunden mit einer zeitlichen Auflösung von weniger als 100 ms und einer Ortsauflösung im Submillimeterbereich. Dadurch hat sich die Methode nicht

SUMMARY

Over the last years, the interest in new imaging modalities like cardiac computed tomography (CCT) is still unbroken. High-end CT-scanners permit the visualization of the heart and the coronary arteries within seconds. Several studies could demonstrate that CCT is helpful to non-invasively rule out significant coronary artery disease. Especially in patients with atypical chest pain or equivocal stress test, CCT might be beneficial.

Imaging of coronary artery bypass grafts is feasible with CCT, whereas the visualization of coronary stents remains challenging in many cases. A rare but important indication to perform CCT might be the need to rule out coronary anomalies or to depict the course of the coronary in relationship to other cardiac structures. Determination of the left ventricular function by CCT should be restricted to special situations and alternative image modalities without the need of radiation should be preferred.

Coronary plaque imaging with CCT is a promising technology in terms of risk stratification. However, up to now, prognostic data are only available for coronary calcification.

In terms of sports medicine, CCT might be a helpful tool in the diagnostic work-up of dedicated persons, e. g. in individuals with suspicion of coronary artery disease or to rule out coronary anomalies. However, the uncritical use of cardiac computed tomography should be avoided due to the need for radiation.

Key words: computed tomography, screening, coronary calcification, indication

nur an spezialisierten Zentren in der klinischen Routinediagnostik etabliert, sondern findet mittlerweile breite Anwendung in der kardiologischen Diagnostik.

Autor	Jahr	Pat (n)	Ausgeschlossene Segmente %	Sensitivität %	Spezifität %	PPV %	NPV %
Leschka (22)	2005	67	0/1005	94 (165/176)	95 (805/829)	88 (165/189)	98 (805/816)
Leber (20)	2005	55	0/732	76 (57/75)	97 (638/657)	75 (57/76)	97 (638/656)
Raff (31)	2005	70	12 (130/1065)	86 (79/92)	95 (802/843)	66 (79/120)	98 (802/815)
Ropers (34)	2006	81	4 (45/1128)	93 (39/42)	97 (1010/1041)	56 (39/70)	100 (1010/1013)
Ong (27)	2006	134	10 (143/1474)	82 (177/217)	96 (1067/1114)	83 (177/214)	96 (1067/1107)
Nikolau (25)	2006	72	1 (10/1015)	82 (97/118)	95 (762/805)	72 (97/140)	97 (762/783)
Ropers (35)	2007	100	0/1394	92 (97/105)	97 (1244/1289)	68 (97/142)	99 (1244/1252)
Brodoefel (5)	2008	100	0/1300	91 (236/259)	92 (893/970)	75 (236/313)	98 (893/916)

Tabelle 2: Diagnostische Genauigkeit der 64-Zeilen-MDCT zur Detektion einer Instent-Restenose (Auswahl). PPV: positiver prädiktiver Wert, NPV: negativer prädiktiver Wert.

Autor	Patienten	Stents	beurteilbar	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV
Rixe (32)	64	102	58%	86%	98%	86%	98%
Rist (31)	25	46	98%	75%	92%	67%	94%
Oncel (26)	30	39	100%	89%	95%	94%	90%
Ehara (14)	81	125	88%	91%	93%	77%	98%

KLINISCHE ANWENDUNG DER MDCT

Koronarangiographie

Die nicht invasive Koronarangiographie mit der MDCT stellt die häufigste Indikation zur Durchführung einer kardialen Computertomographie dar. In zahlreichen Studien hat sich gezeigt, dass sich die MDCT vor allem zum Ausschluss einer signifikanten koronaren Herzerkrankung eignet (8,19). Mittlerweile konnten diese Ergebnisse auch im Rahmen einer Multizenterstudie belegt werden (24). Einen Überblick über aktuelle Studien zur Stenosedetektion mit der Computertomographie zeigt Tab.1.

Aufgrund der aktuellen Datenlage wird von der American Heart Association die Durchführung einer CT-Koronarangiographie hauptsächlich bei symptomatischen Patienten mit einer intermediären Prätest-Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer koronaren Herzerkrankung und/oder zweifelhaften Stresstest-ergebnissen empfohlen (Klasse IIa) (4). Zu einer vergleichbaren Einschätzung kommt die Expertengruppe der European Society of Cardiology, wobei hier nochmals speziell auf die Notwendigkeit einer guten Bildqualität hingewiesen wird (36).

Bypassdarstellung

Die nicht invasive Darstellung koronarer Bypass-Gefäße zur Beurteilung der Offenheit gelingt mit hoher Sensitivität und Spezifität (4,36). Dies liegt vor allem am größeren Gefäßdurchmesser und einem geringeren Kalzifizierungsgrad der Bypass-Gefäße im Vergleich zu nativen Koronarien. Bei der Beurteilung der nativen Koronargefäße stößt die MDCT bei Patienten mit koronaren Bypassgefäßen immer noch an ihre Grenzen. Dies liegt vor allem daran, dass meist ein fortgeschrittenes Stadium der Erkrankung vorliegt und somit mit ausgeprägten Kalzifizierungen der nativen Gefäße zu rechnen ist, was sich wiederum negativ auf die Bildqualität und die diagnostische Genauigkeit der Methode auswirkt (11).

Tabelle 1: Studien zur diagnostischen Genauigkeit der Mehrzeilen-Computertomographie im Vergleich zur invasiven Koronarangiographie (Auswahl). Pat : Patienten, PPV: positiver prädiktiver Wert, NPV: negativer prädiktiver Wert.

Koronaranomalien

Als Schichtbildverfahren ist die MDCT in der Darstellung koronarer Anomalien der konventionellen Koronarangiographie überlegen. Der Verlauf einer Koronaranomalie kann mit hoher Sicherheit bestimmt werden. Es existiert eine Vielzahl von Fallberichten (2, 10,28,33) und kleineren Fallserien (12), größere prospektive Studien wurden bisher jedoch aufgrund der geringen Inzidenz von Koronaranomalien nicht veröffentlicht. Dennoch ist die Darstellung des Verlaufes einer Koronaranomalie eine allgemein anerkannte Indikation für die Durchführung einer kardialen MDCT (16,36). Abb.2 zeigt ein Beispiel für eine Koronaranomalie. Die linke Herzkranzarterie entspringt aus dem rechten Sinus und Verlauf dann zwischen Aorta und Arteria pulmonalis.

Beurteilung koronarer Stents

Bei der Beurteilung von koronaren Stents stoßen auch die aktuellen Computertomographen an ihre Grenzen. Durch Aufhärtungsartefakte der Stentstreben ist es oft nicht möglich, das Stentlumen mit ausreichender Sicherheit zu beurteilen. Die Beurteilbarkeit des Stentlumens hängt unter anderem vom Stentdiameter und der Strut-Dicke des Stents ab. In einer Metaanalyse zeigte sich, dass die Detektion einer Instentrestenose mit einer Sensitivität von 82% und einer Spezifität von 91% gelingt (40). Problematisch erscheint auch der geringe positive prädiktive Wert, was in anderen Worten bedeutet, dass eine Vielzahl falsch positiver Befunde die Durchführung einer Koronarangiographie bedingt. Die Untersuchung von Patienten mit vorheriger Stentimplantation kann deshalb nicht empfohlen werden (36). Tab.2 führt einige ausgewählte Studien zur Beurteilung von Stents mit der kardialen Computertomographie auf.

Beurteilung der linksventrikulären Funktion

Da eine Datenakquisition während des gesamten Herzzyklus erfolgt, können im Rahmen einer MDCT-Untersuchung auch Aussagen über die linksventrikuläre Funktion gemacht werden. Mehrere Studien zeigten eine enge Korrelation von linksventrikulärem enddiastolischem Volumen, endsystolischem Volumen und der Ejektionsfraktion im Vergleich zur Magnetresonanztomographie (6,17,18,23). Die Bestimmung der linksventrikulären Funktion kann somit als „Zusatzinformation“ der MDCT verstanden werden. Zur alleinigen Bestimmung der linksventrikulären Funktion sollte in erster Linie die Echokardiographie oder in Ausnahmesituationen die Magnetresonanztomographie herangezogen werden.

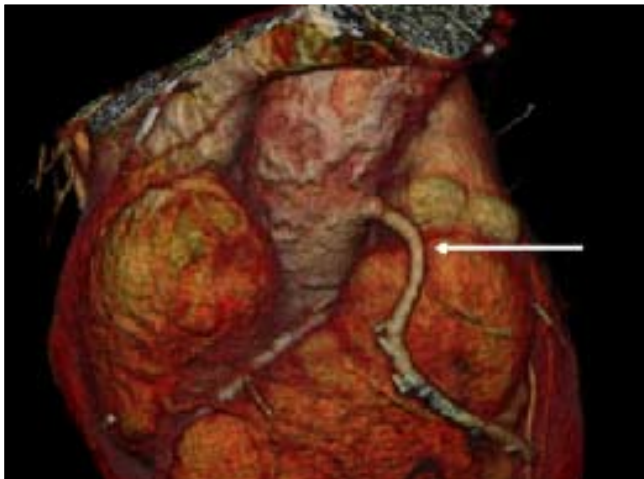


Abbildung 1: Darstellung eines venösen Bypass-Gefäßes auf den Ramus interventricularis anterior ohne Stenosierung. 3D-Rekonstruktion.

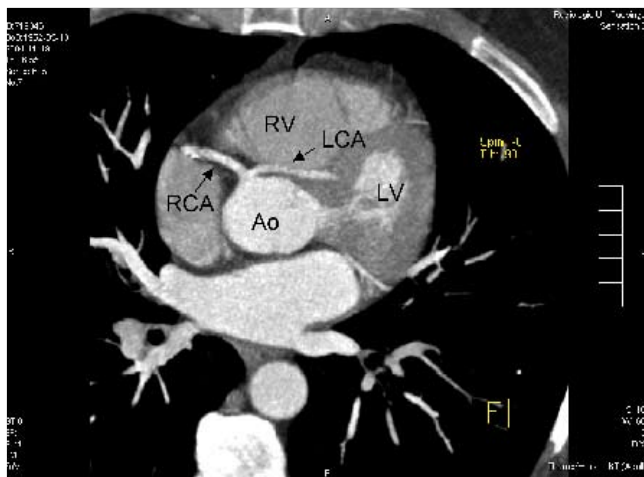


Abbildung 2: Koronaromalie mit Ursprung der linken Koronararterie aus dem rechten Bulbus und Verlauf zwischen Aorta und Arteria pulmonalis. Axiale Schicht. RCA: rechte Koronararterie, LCA: linke Koronararterie, RV: rechter Ventrikel, LV: linker Ventrikel, Ao: Aortenbulbus.

Calcium-Scoring und Plaquemorphologie

Im Gegensatz zur konventionellen Koronarangiographie erlaubt die MDCT auch Aussagen über den Grad der koronaren Kalzifizierung und die Plaquemorphologie (1,21,37). Ein Zusammenhang zwischen Ausmaß der koronaren Kalzifizierung und der Gesamtmortalität konnte in großen Studien gezeigt werden (39). Mittlerweile wurden auch modifizierte Risikoscores entwickelt, die eine Anpassung des relativen Risikos für ein koronares Ereignis in Abhängigkeit des Calcium-Scores vornehmen (29). Ob die Bestimmung des Koronarkalks als Screeningmethode flächendeckend eingesetzt werden sollte, bleibt vor dem Hintergrund der Strahlenexposition und der Kosten mehr als fraglich.

In mehreren experimentellen und klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass die Dichte einer koronaren Läsion mit der Plaqueschaffenheit korrespondiert (3,7,25) und somit zur nicht-invasiven Charakterisierung der „vulnerablen Plaques“ beitragen könnte. Die klinische Wertigkeit dieser Beobachtungen muss allerdings noch in größeren prospektiven Studien belegt werden.

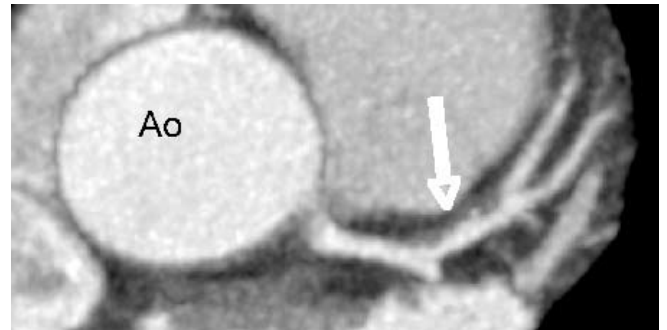


Abbildung 3: Nicht kalzifizierte Plaque in der proximalen LAD, die nicht durch eine alleinige Koronarkalkbestimmung detektiert werden kann. Ao: Aortenbulbus.

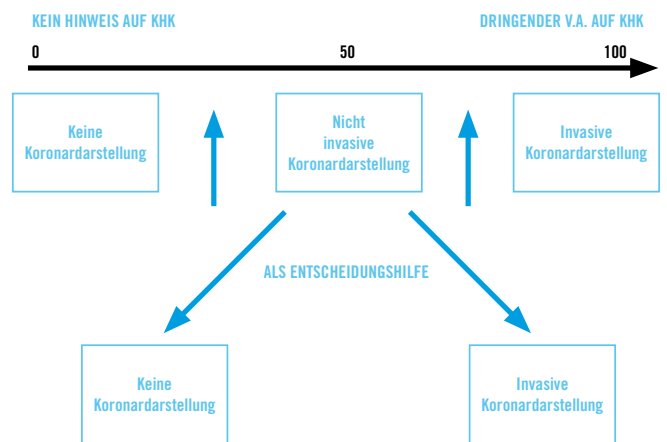


Abbildung 4: Die kardiale Computertomographie als Entscheidungshilfe bei Patienten mit intermediärer Wahrscheinlichkeit für eine koronare Herzerkrankung.

MÖGLICHE INDIKATIONEN DER MDCT IN DER SPORTMEDIZIN UND PRÄVENTION

Risikostratifizierung

Die Bestimmung des Koronarkalkes ermöglicht eine differenziertere Abschätzung des individuellen Risikos bei asymptomatischen Personen mit intermediärem Risiko für eine koronare Arteriosklerose. Bei fehlendem Nachweis von Koronarkalk kann von einer guten Prognose ausgegangen werden (9). Es bleibt allerdings zu beachten, dass das Fehlen koronarer Kalzifizierungen – zumindest wenn bereits klinisch der Verdacht auf eine koronare Herzerkrankung besteht - nicht gleichbedeutend mit dem Ausschluss einer koronaren Herzerkrankung sein muss (38): Bei ungefähr 10% aller Patienten mit negativem Calciumscore finden sich in der kontrastmittelangehobenen Computertomographie nicht kalzifizierte Plaques (Abb. 3). Dies rechtfertigt jedoch nicht den breiten Einsatz der nicht-invasiven Koronarangiographie als Screeningmethode. Einerseits ist von einer nicht zu vernachlässigenden Strahlenbelastung auszugehen (je nach Gerät und Scan-Protokoll bis zu 18 mSv (30)), auf der anderen Seite entstünden hier unverhältnismäßig hohe Kosten für das Gesundheitswesen. Entsprechend zurückhaltend sind auch die aktuellen (vorläufigen) Leitlinien der Deutschen Gesellschaft für Sportmedizin, die eine kardiale Computertomographie bei definierten Personengruppen als fakultative Untersuchung empfehlen. Zu einer ähnlichen Einschätzung kommt auch die Europäische Gesellschaft für Kardiologie (ESC)(15).

Detektion der asymptomatischen koronaren Herzerkrankung

Ein mögliches Einsatzgebiet der nicht invasiven Koronarangiographie könnten asymptomatische Personen sein, bei denen sich im Rahmen einer sportmedizinischen Untersuchung ein pathologischer Belastungstest gezeigt hat. Hier könnte die MDCT als „gate keeper“ für eine invasive Diagnostik herangezogen werden (Abb. 4). Ebenso könnten beschwerdefreie Personen mit Ruhe-EKG-Veränderungen, die nicht auf Trainingseffekte zurückzuführen sind bzw. die bereits vor der Aufnahme einer sportlichen Betätigung diagnostiziert wurden, von einer MDCT profitieren, wenn eine koronare Herzerkrankung als Ursache der Abnormalität im Betracht kommt. Zum Ausschluss oder Nachweis einer strukturellen Herzerkrankung sollte jedoch in erster Linie die Echokardiographie oder die Magnetresonanztomographie zum Einsatz kommen.

Koronaranomalien

Koronaranomalien sind mit einer Prävalenz von ca. 0,46 – 1,55% in der Normalbevölkerung zwar selten (41), bedingen jedoch nach einer Untersuchung aus den USA 17% der plötzlichen Todesfälle bei jüngeren Athleten (13). Damit rangiert die Koronaranomalie nach der hypertrophen Kardiomyopathie auf Rang zwei der Todesursachen, entzieht sich aber im Gegensatz zu anderen möglichen Gründen für einen plötzlichen Herztod der sportmedizinischen Routinediagnostik (EKG, Ergometrie, Echokardiographie). Brustschmerzen oder Synkopen bei jüngeren Athleten sollten auch an das Vorliegen einer Koronaranomalie denken lassen. Im Einzelfall kann dann die Durchführung einer Magnetresonanztomographie oder einer Computertomographie indiziert sein.

ZUSAMMENFASSUNG

Die kardiale MDCT hat in den letzten Jahren das diagnostische Spektrum der Kardiologie maßgeblich erweitert. Die Stärke der nicht invasiven Koronarangiographie liegt dabei vor allem im Ausschluss einer stenosierenden koronaren Herzerkrankung bei Patienten mit intermediärem Risiko. Weitere Indikationsgebiete bestehen in der Beurteilung koronarer Bypass-Gefäße und von Koronaranomalien. Prognostische Aussagen bezüglich kardiovaskulärer Ereignisse und der Gesamtmortalität lassen sich über die Bestimmung des Calciumscores ableiten.

Die Plaquecharakterisierung mittels MDCT stellt zum momentanen Zeitpunkt eine zukunftsrichtige Methode dar, deren klinischer Stellenwert (auch aus der Sicht der Präventivmedizin) allerdings noch in prospektiven Studien belegt werden muss.

In der sportmedizinischen Beurteilung könnte die Computertomographie für ausgewählte Personen eine diagnostische Entscheidungshilfe darstellen. Ein unkritischer Einsatz der Methode sollte allerdings vor dem Hintergrund der Strahlenbelastung unterbleiben.

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: Keine.

LITERATUR

1. ACHENBACH S, MOSELEWSKI F, ROPERS D, FERENCIK M, HOFFMANN U, MACNEILL B, POHLE K, BAUM U, ANDERS K, JANG IK, DANIEL WG, BRADY TJ: Detection of calcified and noncalcified coronary atherosclerotic plaque by contrast-enhanced, submillimeter multidetector spiral computed tomography: a segment-based comparison with intravascular ultrasound. *Circulation* 109 (2004) 1417.
2. AGARWAL PP, KAZEROONI EA: Dual left anterior descending coronary artery: CT findings. *AJR Am J Roentgenol* 191 (2008) 1698-1701.
3. BECKER CR, NIKOLAOU K, MUDERS M, BABARYKA G, CRISPIN A, SCHOEPP UJ, LOEHR U, REISER MF: Ex vivo coronary atherosclerotic plaque characterization with multi-detector-row CT. *Eur Radiol* 13 (2003) 2094-2098.
4. BLUEMKE DA, ACHENBACH S, BUDOFF M, GERBER TC, GERSH B, HILLIS LD, HUNDLEY WG, MANNING WJ, PRINTZ BF, STUBER M, WOODARD PK: Noninvasive coronary artery imaging: magnetic resonance angiography and multidetector computed tomography angiography: a scientific statement from the american heart association committee on cardiovascular imaging and intervention of the council on cardiovascular radiology and intervention, and the councils on clinical cardiology and cardiovascular disease in the young. *Circulation* 118 (2008) 586-606.
5. BRODOEFEL H, BURGSTAHLER C, TSIFLIKAS I, REIMANN A, SCHROEDER S, CLAUSSEN CD, HEUSCHMID M, KOPP AF: Dual-source CT: effect of heart rate, heart rate variability, and calcification on image quality and diagnostic accuracy. *Radiology* 247 (2008) 346-355.
6. BRODOEFEL H, KRAMER U, REIMANN A, BURGSTAHLER C, SCHROEDER S, KOPP A, HEUSCHMID M: Dual-source CT with improved temporal resolution in assessment of left ventricular function: a pilot study. *AJR Am J Roentgenol* 189 (2007) 1064-1070.
7. BRODOEFEL H, REIMANN A, HEUSCHMID M, TSIFLIKAS I, KOPP AF, SCHROEDER S, CLAUSSEN CD, CLOUSE ME, BURGSTAHLER C: Characterization of coronary atherosclerosis by dual-source computed tomography and HU-based color mapping: a pilot study. *Eur Radiol* 18 (2008) 2466-2474.
8. BRODOEFEL H, TSIFLIKAS I, BURGSTAHLER C, REIMANN A, THOMAS C, SCHROEDER S, KOPP AF, CLAUSSEN CD, HEUSCHMID M: Cardiac dual-source computed tomography: effect of body mass index on image quality and diagnostic accuracy. *Invest Radiol* 43 (2008) 712-718.
9. BUDOFF MJ, ACHENBACH S, BLUMENTHAL RS, CARR JJ, GOLDIN JG, GREENLAND P, GUERCI AD, LIMA JA, RADER DJ, RUBIN GD, SHAW LJ, WIEGERS SE: Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 114 (2006) 1761-1791.
10. BURGSTAHLER C, BECK T, HEUSCHMID M, KUETTNER A, KOPP AF, SCHROEDER S: Imaging of an anomalous left coronary artery arising from a dominant right coronary artery by 16-slice computed tomography in a 75-year-old woman. *Can J Cardiol* 21 (2005) 533.
11. BURGSTAHLER C, REIMANN A, DROSCH T, HEUSCHMID M, BRODOEFEL H, TSIFLIKAS I, HABERLE E, UYSAL I, WURSTER D, CLAUSSEN CD, KOPP AF, SCHROEDER S: Cardiac dual-source computed tomography in patients with severe coronary calcifications and a high prevalence of coronary artery disease. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 1 (2007) 143-151.
12. DEIBLER AR, KUZU RS, VOHRINGER M, PAGE EE, SAFFORD RE, PATRON JN, LANE GE, MORIN RL, GERBER TC: Imaging of congenital coronary anomalies with multislice computed tomography. *Mayo Clin Proc* 79 (2004) 1017-1023.
13. DREZNER JA: Contemporary approaches to the identification of athletes at risk for sudden cardiac death. *Curr Opin Cardiol* 23 (2008) 494 - 501.
14. EHARA M, SURMELY JF, KAWAI M, KATOH O, MATSUBARA T, TERASHIMA M, TSUCHIKANE E, KINOSHITA Y, SUZUKI T, ITO T, TAKEDA Y, NASU K, TANAKA N, MURATA A, SUZUKI Y, SATO K, SUZUKI T: Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography for detecting angiographically significant coronary artery stenosis in an unselected consecutive patient population: comparison with conventional invasive angiography. *Circ J* 70 (2006) 564-571.

15. GRAHAM I, ATAR, D BORCH-JOHNSEN K, BOYSEN G, BURELL G, CIFKOVA R, DALLONGEVILLE J, DE BACKER G, EBRAHIM S, GJELSVIK B, HERRMANN-LINGEN C, HOES A, HUMPHRIES S, KNAPTON M, PERK J, PRIORI SG, PYORALA K, REINER Z, RUILOPE L, SANS-MENENDEZ S, OP REIMER, WS, WEISSBERG P, WOOD D, YARNELL J, ZAMORANO JL, WALMA E, FITZGERALD T, COONEY MT, DUDINA A, VAHANIAN A, CAMM J, DE CATERINA R, DEAN V, DICKSTEIN K, FUNCK-BRENTANO C, FILIPPATOS G, HELLEMANS I, KRISTENSEN SD, MCGREGOR K, SECHTEM U, SILBER S, TENDERA M, WIDIMSKY P, ZAMORANO JL, ALTINER A, BONORA E, DURRINGTON PN, FAGARD R, GIAMPAOLI S, HEMINGWAY H, HAKANSSON J, KJELDSEN SE, LARSEN L, MANCIA G, MANOLIS AJ, ORTH-GOMER K, PEDERSEN T, RAYNER M, RYDEN L, SAMMUT M, SCHNEIDERMAN N, STALENHOF AF, TOKGOZOGLU L, WIKLUND O, ZAMPELAS A: European guidelines on cardiovascular disease prevention in clinical practice: full text. Fourth Joint Task Force of the European Society of Cardiology and other societies on cardiovascular disease prevention in clinical practice (constituted by representatives of nine societies and by invited experts). *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 14 Suppl 2 (2007) 1-113.
16. HENDEL RC, PATEL MR, KRAMER CM, POON M, HENDEL RC, CARR JC, GERSTAD NA, GILLAM LD, HODGSON JM, KIM RJ, KRAMER CM, LESSER JR, MARTIN ET, MESSER JV, REDBERG RF, RUBIN GD, RUMSFELD JS, TAYLOR AJ, WEIGOLD WG, WOODARD PK, BRINDIS RG, HENDEL RC, DOUGLAS PS, PETERSON ED, WOLK MJ, ALLEN JM, PATEL MR: ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol* 48 (2006) 1475-1497.
17. HEUSCHMID M, ROTHFUSS JK, SCHROEDER S, FENCHEL M, STAUDER N, BURGSTAHLER C, FRANOW A, KUZO RS, KUETTNER A, MILLER S, CLAUSSEN CD, KOPP AF: Assessment of left ventricular myocardial function using 16-slice multidetector-row computed tomography: comparison with magnetic resonance imaging and echocardiography. *Eur Radiol* 16 (2006) 551-559.
18. JUERGENS KU, GRUDE M, MAINTZ D, FALLENBERG EM, WICHTER T, HEINDEL W, FISCHBACH R: Multi-detector row CT of left ventricular function with dedicated analysis software versus MR imaging: initial experience. *Radiology* 230 (2004) 403-410.
19. LEBER AW, JOHNSON T, BECKER A, VON ZIEGLER F, TITTUS J, NIKOLAOU K, REISER M, STEINBECK G, BECKER CR, KNEZ A: 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 (2007) 2354-2360.
20. LEBER AW, KNEZ A, VON ZIEGLER F, BECKER A, NIKOLAOU K, PAUL S, WINTERSPERGER B, REISER M, BECKER CR, STEINBECK G, BOEKSTEGERS P: Quantification of obstructive and nonobstructive coronary lesions by 64-slice computed tomography: a comparative study with quantitative coronary angiography and intravascular ultrasound. *J Am Coll Cardiol* 46 (2005) 147-154.
21. LEBER AW, KNEZ A, WHITE CW, BECKER A, VON ZIEGLER F, MUEHLING O, BECKER C, REISER M, STEINBECK G, BOEKSTEGERS P: Composition of coronary atherosclerotic plaques in patients with acute myocardial infarction and stable angina pectoris determined by contrast-enhanced multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 91 (2003) 714-718.
22. LESCHKA S, ALKADHI H, PLASS A, DESBIOLLES L, GRUNENFELDER J, MARINCEK B, WILDERMUTH S: Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J* 26 (2005) 1482-1487.
23. MAHNKEN AH, SPUNTRUP E, NIETHAMMER M, BUECKER A, BOESE J, WILDBERGER JE, FLOHR T, SINHA AM, KROMBACH GA, GUNTHER RW: Quantitative and qualitative assessment of left ventricular volume with ECG-gated multislice spiral CT: value of different image reconstruction algorithms in comparison to MRI. *Acta Radiol* 44 (2003) 604-611.
24. MEIJBOOM WB, MEIJS MF, SCHUIJF JD, CRAMER MJ, MOLLET NR, VAN MIEGHEM CA, NIEMAN K, VAN WERKHOVEN JM, PUNDTIUTE G, WEUSTINK AC, DE VOS AM, PUGLIESE F, RENSING B, JUKEMA JW, BAX JJ, PROKOP M, DOEVEDANS PA, HUNINK MG, KRESTIN GP, DE FEYTER PJ: Diagnostic accuracy of 64-slice computed tomography coronary angiography: a prospective, multicenter, multivendor study. *J Am Coll Cardiol* 52 (2008) 2135 - 2144.
25. NIKOLAOU K, BECKER CR, MUDERS M, BABARYKA G, SCHEIDLER J, FLOHR T, LOEHRS U, REISER MF, FAYAD ZA: Multidetector-row computed tomography and magnetic resonance imaging of atherosclerotic lesions in human ex vivo coronary arteries. *Atherosclerosis* 174 (2004) 243-252.
26. ONCEL D, ONCEL G, KARACA M: Coronary stent patency and in-stent restenosis: determination with 64-section multidetector CT coronary angiography--initial experience. *Radiology* 242 (2007) 403-409.
27. ONG TK, CHIN SP, LIEW CK, CHAN WL, SEYFARTH MT, LIEW HB, RAPAE A, FONG YY, ANG CK, SIM KH: Accuracy of 64-row multidetector computed tomography in detecting coronary artery disease in 134 symptomatic patients: influence of calcification. *Am Heart J* 151 (2006) 1323-1326.
28. OZCAN F, MADEN O, TURKVATAN A, OZLU MF, OZCAN HN, BALBAY Y: Demonstration of a very rare coronary anomaly with multislice computed tomography: Arising of right coronary artery from left anterior descending artery. *Int J Cardiol* (2008) .
29. PLETCHER MJ, TICE JA, PIGNONE M, MCCULLOCH C, CALLISTER TQ, BROWNER WS: What does my patient's coronary artery calcium score mean? Combining information from the coronary artery calcium score with information from conventional risk factors to estimate coronary heart disease risk. *BMC Med* 2 (2004) 31.
30. RAFF GL, GALLAGHER MJ, O'NEILL WW, GOLDSTEIN JA: Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography using 64-slice spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol* 46 (2005) 552-557.
31. RIST C, VON ZIEGLER F, NIKOLAOU K, KIRCHIN MA, WINTERSPERGER BJ, JOHNSON TR, KNEZ A, LEBER AW, REISER MF, BECKER CR: Assessment of coronary artery stent patency and restenosis using 64-slice computed tomography. *Acad Radiol* 13 (2006) 1465-1473.
32. RIXE J, ACHENBACH S, ROPERS D, BAUM U, KUETTNER A, ROPERS U, BAUTZ W, DANIEL WG, ANDERS K: Assessment of coronary artery stent restenosis by 64-slice multi-detector computed tomography. *Eur Heart J* 27 (2006) 2567-2572.
33. ROGERS IS, TRUONG QA, CURY RC, HOFFMANN U: Incidental discovery of a rare single coronary artery anomaly by cardiac multidetector computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2 (2008) 59-60.
34. ROPERS D, RIXE J, ANDERS K, KUETTNER A, BAUM U, BAUTZ W, DANIEL WG, ACHENBACH S: Usefulness of multidetector row spiral computed tomography with 64- x 0.6-mm collimation and 330-ms rotation for the noninvasive detection of significant coronary artery stenoses. *Am J Cardiol* 97 (2006) 343-348.
35. ROPERS U, ROPERS D, PFLEDERER T, ANDERS K, KUETTNER A, STILIANAKIS NI, KOMATSU S, KALENDER W, BAUTZ W, DANIEL WG, ACHENBACH S: Influence of heart rate on the diagnostic accuracy of dual-source computed tomography coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 50 (2007) 2393-2398.
36. SCHROEDER S, ACHENBACH S, BENDEL F, BURGSTAHLER C, CADEMARTIRI F, DE FEYTER P, GEORGE R, KAUFMANN P, KOPP AF, KNUUTI J, ROPERS D, SCHUIJF J, TOPS LF, BAX JJ: Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements: report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology. *Eur Heart J* 29 (2008) 531-556.
37. SCHROEDER S, KOPP AF, BAUMBACH A, KUETTNER A, GEORG C, OHNESORGE B, HERDEG C, CLAUSSEN CD, KARSCH KR: Non-invasive characterisation of coronary lesion morphology by multi-slice computed tomography: a promising new technology for risk stratification of patients with coronary artery disease. *Heart* 85 (2001) 576-578.
38. SCHROEDER S, KUETTNER A, KOPP AF, HEUSCHMIDT M, BURGSTAHLER C, HERDEG C, CLAUSSEN CD: Noninvasive evaluation of the prevalence of noncalcified atherosclerotic plaques by multi-slice detector computed tomography: results of a pilot study. *Int J Cardiol* 92 (2003) 151-155.
39. SHAW LJ, RAGGI P, SCHISTERMAN E, BERMAN DS, CALLISTER TQ: Prognostic value of cardiac risk factors and coronary artery calcium screening for all-cause mortality. *Radiology* 228 (2003) 826-833.

40. VANHOENACKER PK, DECRAMER I, BLADT O, SARNO, G, VAN HUL E, WIJNS W, DWAMENA BA: Multidetector computed tomography angiography for assessment of in-stent restenosis: meta-analysis of diagnostic performance. BMC Med Imaging 8 (2008) 14.
41. WALKER F, WEBB G: Congenital coronary artery anomalies: the adult perspective. Coron Artery Dis 12 (2001) 599-604.

Korrespondenzadresse:

PD Dr. Christof Burgstahler

Universitätsklinik Tübingen, Abteilung Sportmedizin

Silcherstrasse 5

72076 Tübingen

E-Mail: christof.burgstahler@med.uni-tuebingen.de