

Aktueller Stellenwert der MSCTA in der Koronargefäßdiagnostik:
Klinischer Leitfaden (2011) der Österreichischen Gesellschaften für Kardiologie und Radiologie

Autoren (alphabetisch):

Radiologie

Andreas Artmann
Klaus Hergan
Christian Loewe
Oliver Sommer
Alfred Stadler
Florian Wolf

Kardiologie

Guy Friedrich
Martin Gessner
Sebastian Globits
Philipp Pichler
Herwig Schuchlenz
Heinz Sochor

External Expert reviewers:

Gudrun Feuchtner

Otmar Pachinger

Korrespondenzadressen:

Prim. Univ. Prof. Dr. Klaus Hergan
Univ. Institut f. Radiologie
Salzburger Landeskliniken
Müllner Hauptstrasse 48
A-5020 Salzburg
E-mail: k.hergan@salk.at

Univ.Prof. Dr.Guy Friedrich
Univ. Klinik f Innere Med III
Kardiologie
Anichstrasse 35
A-6020 Innsbruck
guy.friedrich@uki.at

Präambel:

Der 2007 publizierte klinische Leitfaden für die Anwendung der kardialen MSCT war das Ergebnis einer intensiven interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Radiologie und Kardiologie in Österreich. Die nun vorliegende Aktualisierung soll die kontinuierliche klinische und technische Weiterentwicklung widerspiegeln. Die zeitliche und räumliche Auflösung der CT haben sich erheblich verbessert, sodass eine Abbildung der Koronararterien in unter einer Sekunde in hoher diagnostischer Qualität möglich geworden ist. Dabei hat sich die Strahlenbelastung reduziert und liegt derzeit, unter Anwendung der modernsten Gerätetechnologie, im Bereich einer diagnostischen Katheterangiographie.

Die Liste der Indikationen der kardialen MSCT Untersuchung hat sich zudem erweitert: so zum Beispiel kann sie in der Vorbereitung komplexer kardiologischer Interventionen hilfreich sein.

Darüber hinaus schränken höhergradige Verkalkungen der Koronararterien die Untersuchungsqualität weniger ein als bisher angenommen.

Auf der anderen Seite hat die Bedeutung des Ca-Score nicht den erwarteten Stellenwert in der individuellen Prognose der koronaren Herzerkrankung erreicht, demnach handelt es sich um keine allgemein zu empfehlende Screening-Methode.

Das Update dieses der vorliegende aktualisierte Leitfaden trägt auch der wachsenden Expertise der Radiologen und Kardiologen auf dem Gebiet der nicht-invasiven kardiologischen Abklärung Rechnung und unterstreicht die positive Entwicklung der Kooperation beider Fachgruppen. Qualität und Indikationsspektrum der Herz-CT sowie fachliche Expertise und interdisziplinäre Kooperation haben zu einer breiteren Anwendung geführt.

Der vorliegende aktualisierte Leitfaden informiert über derzeit sinnvolle Anwendungen der MSCT bei Patienten mit Verdacht auf oder bereits bekannter koronarer Herzkrankheit, wie sie aus zahlreichen Originalpublikationen abzulesen sind. Der Leitfaden wurde analog zur Publikation von 2007 evidenzbasiert erstellt, wo notwendig wurden Ergänzungen oder Korrekturen vorgenommen, die auf einem interdisziplinärem Konsensus beruhen.

1. CT Kalziumscoring (CS)

Die Kalziumscoring-Untersuchung erfolgt ohne Kontrastmittel und mit niedriger, wenn auch nicht vernachlässigbarer Strahlenbelastung (ca. 1,0-1,8 mSv) (1). So zeigt eine rezente Untersuchung, dass ein Kalziumscoring im Alter von 40a ein Krebsrisiko von 9/100.000 bei Männern und 28/100.000 bei Frauen verursacht. (2)

1.1. Calcium Scoring beim symptomatischen Patienten:

Beim symptomatischen Patienten korreliert das Ausmaß an Koronarkalk sehr gut mit dem Schweregrad der KHK sowie der Gesamtmenge an atherosklerotischen Plaques („Plaqueload“) (3-6). Rezente in vitro Untersuchungen und Vergleichsstudien mit intravaskulärem Ultraschall konnten zeigen, dass die Gesamtplaquemenge bei Vorhandensein von Kalzifizierung zwar höher ist, jedoch im einzelnen Gefäßsegment das Ausmaß an Kalzifizierungen nicht unbedingt der Menge des Plaquevolumens entspricht (7).

Weiters konnte gezeigt werden, dass ein hoher Kalkgehalt (> 400 Agatstonscore) mit positiven funktionellen Tests (Ergometrie und Thalliumszintigraphie) korreliert, wobei diese Daten teilweise auch durch die invasive Koronarangiographie abgesichert wurden (8,9).

Auf der anderen Seite konnte in einer rezenten Studie an symptomatischen Patienten gezeigt werden, dass bei 19% der untersuchten Population ein negativer Kalziumscore eine Coronarstenose > 50% nicht ausschließt (10).

In jedem Fall muß der geschlechtsabhängige zunehmende Kalzifizierungsprozess mit steigendem Alter mitberücksichtigt werden. Dies hat dazu geführt, dass sogenannte „Perzentilen“ eingeführt wurden, welche, je nach Alter und Geschlecht des Patienten, den CT-Kalkscore in Beziehung mit dem individuellen Patient setzen (11).

Derzeit gibt es betreffend Kalkscore beim symptomatischen Patienten folgende durch Literatur belegte Empfehlungen:

eine hohe koronare Kalklast (> 400 nach Agatston) ist mit einer höheren Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer signifikanten Koronarstenose verbunden (12,13)

beim symptomatischen Patienten spricht ein stark erhöhter Koronarkalkbefund (> 400 nach Agatston) für das Vorhandensein von zumindest einer signifikanten Koronarstenose oder sogar einer koronaren 3- Gefäßerkrankung (14-17)

ein negativer Kalkscore spricht für eine sehr niedrige Wahrscheinlichkeit einer stenosierenden KHK (18,19,20), allerdings kann diese nicht zu 100% ausgeschlossen werden (10) und es muß unbedingt die Klinik des Patienten berücksichtigt werden.

1.2. Calcium Scoring beim asymptomatischen Patienten:

Die Möglichkeit der Kalkdarstellung mittels CT hat von Beginn an das Interesse an der Früherkennung der Coronarsklerose und Prognoseabschätzung, als potentiell Steuerungsinstrument für Primär- und Sekundärprophylaxe, geweckt.

Mehrere Studien haben das größere Risiko für koronare Ereignisse bei erhöhten CT Kalkscore gezeigt (21 - 24).

Die Bestimmung des Kalziumscores hat einen additiven Effekt zu konventionellen Risikoparametern (z.B. Framingham) und ist ein unabhängiger Prädiktor für kardiovaskuläre Mortalität (25,26). So konnte gezeigt werden, daß z.B. bei einem Agatston score > 300 ein 9,67 faches erhöhtes Risiko für ein kardiovaskuläres Ereignis im Vergleich zu einem Kalziumscore von 0 besteht (27). In einer Metaanalyse von Greenland (28) konnte der prognostische Wert der Kalkbestimmung in der intermediären Framingham Risikogruppe belegt werden, wobei ein Agatston score von > 400 die Patienten der Hochrisikogruppe (10-Jahres Risiko für CV Ereignis > 20%) zuordnet. Eine generelle Empfehlung zum „Koronarkalkscreening“ kann jedoch weiterhin nicht gegeben werden, auch gibt es keine Indikation für eine „serielle“ Kalziummessung zum Nachweis eines möglichen Therapieeffekts bei Gabe von Statinen (29). Derzeit gibt es betreffend Kalkscore beim asymptomatischen Patienten folgende durch Literatur belegte Empfehlungen (28):

Bei Patienten mit mittlerem Risiko (10-20% 10-Jahres Risiko für CV Ereignis) ist die Bestimmung des Kalkscores aufgrund der additiven Risikoinformation sinnvoll, um den Patienten einer höheren oder niedrigeren Risikogruppe zuzuordnen und das Management anzupassen.

Patienten mit niedrigem Risiko (< 10% 10-Jahres Risiko für CV Ereignis) ist die Bestimmung des Kalkscores nicht sinnvoll, ebenso gibt es keine Empfehlung für ein allgemeines Screening.

Pat. mit hohem Risiko (> 20% 10-Jahres Risiko für CV Ereignis): ist die Bestimmung des Kalkscores nicht sinnvoll, hier sollte eine aggressive Risikoreduktion erfolgen.

Da ein negativer Kalziumscore atherosklerotische Veränderungen nicht zu 100% ausschließt, sollte bei mittlerem Risiko eine eventuell begonnene primärprophylaktische Behandlungsstrategie nicht reduziert werden.

Auch bei hoher Kalklast (Agatston > 400) wird beim asymptomatischen Patienten kein weiterer Test empfohlen

Bei atypischen Beschwerden liegen keine Vergleichsdaten mit anderen nicht-invasiven Tests vor.

Zusammenfassend ist gegenwärtig ein Calciumscore bei vor allem bei asymptomatischen Patienten mit intermediärem Risikoprofil indiziert .

2. CT-Angiographie (CTA) der Koronargefäße

Bevor entschieden werden kann, ob ein Patient zur Herz-MSCT zugewiesen werden soll, sind folgende Fragen zu klären:

a) Bei welchen Patienten soll oder kann diese Methode angewandt werden?

b) Welche Wertigkeit hat diese Technik im Vergleich zu anderen nicht-invasiven oder invasiven Methoden?

c) Bei welchen Patienten soll oder kann diese Methode nicht angewandt werden?

d) Wo ist der Platz für die MSCT-Untersuchung im Rahmen der Abklärung des Patienten mit Verdacht auf bzw. mit bekannter koronarer Herzkrankheit?

Spezielle Charakteristika der Untersuchungstechnik:

Für den Patienten entspricht die Untersuchung einer üblichen Computertomographie mit Kontrastmittel (wie z. B. des Abdomens), wobei zusätzlich ein EKG aufgezeichnet wird. Auf die Bildqualität und damit auf die Diagnosegenauigkeit haben gerätespezifische Parameter einen hohen Einfluß, indem sie die räumliche und zeitliche Auflösung bestimmen. Zusätzlich können patientenbezogene Faktoren auf die Bildqualität einen negativen Einfluß nehmen:

Hohe Herzfrequenz

Arrhythmien

Atembewegungen

Ausgeprägter Koronarkalk

Radiologisch dichte Stents (30) bzw. multiple Stents kombiniert mit kleinem Kaliber.

Kleiner Gefäßdurchmesser (< 1,5 mm, typischerweise periphere CX und LAD, marginale und septale Äste)

Adipositas

Herzschrittmacher (Artefakte)

Mechanische Klappenprothesen

Occluder

Coils

Die Herzfrequenz sollte in Abhängigkeit von der Scannergeneration möglichst niedrig gehalten werden. Beispielsweise sollte sie für 64 Zeilen CT Scanner unter 70/min liegen. Hierfür wird die Gabe eines Beta Blockers empfohlen. Neueste Gerätegenerationen (z. B. Dual Source -, Flash -, Volume scanning - Techniken) ermöglichen eine diagnostische Bildqualität auch bei hoher Herzfrequenz [31 -34]. Auch Nitroglyzerin zur maximalen Vasodilatation findet in manchen Zentren Anwendung. Die maximale Atemanhaltedauer während der Aufnahme beträgt meist ca. 10–15 Sekunden, was in der Regel für Patienten kein Problem darstellt.

Kalk verursacht sogenannte „Kalk-Bloomingartefakte“, die große, verkalkte Gefäßplaques größer erscheinen lassen als sie in Wirklichkeit sind, dieser Effekt wird durch Betrachtung in der MIP Darstellung deutlich verstärkt. Dadurch kann die Beurteilung des offenen Gefäßlumens eingeschränkt sein und zu „falsch positiven“ Befunden führen. Das Ausmaß der Kalk – Bloomingartefakte ist insbesondere abhängig von der zeitlichen Auflösung des CT Gerätes (je besser die zeitliche Auflösung ist, desto geringer sind die Kalk-Bloomingartefakte). Die Höhe des Gesamtkalziumscores bis zu dem eine CTA sinnvoll ist, ist daher abhängig von der zeitlichen Auflösung des verwendeten Gerätes. Bei 64 Zeilen Geräten mit einer zeitlichen Auflösung von ca. 165 msec empfiehlt sich ein Richtwert von ca. 400 - 600 (Kalziumscore nach Agatston), bei Geräten mit einer zeitlichen Auflösung von 83 msec oder kleiner ein Grenzwert von ca. 1000. Neben dem Gesamtkalziumscore muss natürlich die Verteilung der Koronarverkalkungen berücksichtigt werden (bei diffuser Verteilung sind die Kalk-Bloomingartefakte geringer als bei einzelnen umschriebenen groben Verkalkungen). Bei über den angegebenen Richtwerten liegendem Kalziumscore muss individuell entschieden werden,

ob die CTA noch sinnvoll ist, da neben der Möglichkeit einer eingeschränkten Beurteilbarkeit auch die Wahrscheinlichkeit einer hämodynamisch wirksamen Stenose höher ist [35].

Anhand der rezenten technischen Entwicklungen (64-Zeilen CT-Geräte und nachfolgende Gerätegenerationen) wurden im Vergleich zur konventionellen Angiographie ausgezeichnete Sensitivitäts- und Spezifitätswerte der CTA beim Erkennen von nativen Koronarstenosen (>50%) publiziert. Ein negativer, also normaler CT-Befund ist sehr hilfreich, da damit eine relevante KHK mit hoher Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Diesen Befund wird man vor allem in der Population mit niedrigem bzw. niedrig-intermediärem KHK-Risiko (Prävalenz) auch tatsächlich häufig finden [36 - 45]. Bei diesen Patienten kann bei negativem CT-Befund in vielen Fällen auf eine invasive Katheterangiographie verzichtet werden.

Darüber hinaus wurden exzellente Ergebnisse bezüglich der Bewertung von Koronarbypässen gefunden [46-48]. Die Ergebnisse bisher publizierter Studien auf dem Gebiet der CTA umfassen in der Regel folgende Aussagen:

Diagnostische Genauigkeit

- pro Koronarsegment
- pro Koronargefäß
- pro Patient
- Kombinationen aller drei Parameter

Für die klinische Anwendung sind die Daten pro Patient sicherlich die relevantesten, weil sie zeigen, wie viele Patienten mit Koronarstenose richtig identifiziert werden können (Tab. 1).

Tabelle1: Patientenbezogene diagnostische Genauigkeit der MSCT

Autor	Pat.Zahl	Zeilen	Sensitivität	Spezifität	PPV	NPV
Scheffel et al (36)	120	DSCT	100	93	94	100
Alkadhi et al. (38)	150	DSCT	96,6	86,8	82,6	97,5
Mowatt et al (39)	1268	64	99	89	93	100
Budoff et al (49)	230	64	95	83	64	99
Dewey et al (50)	291	64	94*	83*	48*	99*
Leschka et al. (51)	67	64	85	93	91	83
Leber et al. (52)	59	64	94	97	87	99
Raff et al. (53)	70	64	79	97	72	98
Kuettner et al. (54)	60	16	72	97	72	97
ACCURACY (55)	230	64	95	83	64	99
CORE 64 (56)	291	64	85	90	91	83
Dewey et al. (57)	30	320	100	94	92	100
Meijboom et al. (58)	360	64	99	64	86	97
Maffei et al. (59)	1372	64	99	92	94	99

* für Stenosen $\geq 50\%$ bzw. $\geq 70\%$

In rezenten Studien mit neuerer Gerätetechnologie (siehe Tabelle) rangiert die Sensitivität zwischen 85 und 100% bei einer Spezifität von 83 bis 97 % (zumeist für das Kriterium > 50%ige Stenose = relevante Stenose). Vergleichsstudien mit konventioneller Koronarangiographie inkl. QCA zeigen, dass eine exakte Stenosequantifizierung nach wie vor limitiert ist. Die Möglichkeit der CTA die Beschaffenheit der Plaques (verkalkt, nicht verkalkt, gemischt) und auch die Gesamtgröße eines Plaques zu charakterisieren ist ein wichtiger Vorteil gegenüber der konventionellen Herzkatheteruntersuchung. Auch Plaques, die das Gefäßlumen nicht reduzieren, kommen in der CT Angiographie zur Darstellung. Dies führt zwar nicht zu einer interventionellen Konsequenz, ermöglicht aber die Früherkennung einer Atherosklerose der Koronararterien. Obwohl in den rezenten Studien mit neuer Gerätegeneration die Zahl der "nicht evaluierbaren" Koronargefäßsegmente deutlich abgenommen hat, müssen folgende Limitationen bei der Umsetzung in die klinische Praxis genannt werden:

- In einer beträchtlichen Zahl an Studien wurden Patienten mit AP-Beschwerden und einer hohen KHK---Prävalenz (durchschnittlich 0,9–1,6 signifikante Läsionen oder betroffene Gefäßpro Patient) untersucht

- Es handelt sich vielfach um Singlecenter-Studien; größere Fallzahlen wurden bislang in 3 Multicenter Untersuchungen publiziert (siehe Tabelle)

Wie bereits oben erwähnt, beziehen sich die Sensitivitäts- und Spezifitätsdaten der CTA meist auf die Detektion von Gefäßstenosen > 50 %. Für das weitere klinische Management des Patienten (Koronarangiographie, Revaskularisation) ist aber die Differenzierung hämodynamisch relevanter, interventionswürdiger Stenosen (> 70 %) von hämodynamisch nicht relevanten Veränderungen erforderlich. Der ausreichende wissenschaftliche Nachweis, wie gut Stenosen über 70 % von solchen unter 70 % differenziert werden können, steht jedoch noch aus. In den Guidelines der Society of Cardiovascular CT von 2009 werden empfohlene und optionale quantitative Stenosegraduierungen beschrieben (60).

Generell gilt es in diesem Zusammenhang festzuhalten, daß große Studien mit Populationen der verschiedenen Vortestwahrscheinlichkeiten, die eine endgültige Beurteilung des Stellenwerts der Methode im diagnostischen Stufenplan der KHK erlauben, noch ausstehen. Erste große Metaanalysen legen aber bereits den potentiellen Wert des Herz-CT bei der Detektion der KHK nahe (61,62,63). Durch laufende Verbesserung der gerätetechnischen Voraussetzungen und Reduktion der Strahlenbelastung sollte die Methode weiter an Bedeutung gewinnen. Nicht unerwähnt darf sein, daß mit der Herz-CT auch Pathologien der angrenzenden Organe und Strukturen wie Lunge, Mediastinum und große Gefäße, aber auch Teile der Oberbauchorgane mit erfaßt werden, die als Differenzialdiagnosen für eine „kardiale Symptomatik“ in Frage kommen (64).

Zusammenfassend stellt sich zur Zeit der Stellenwert der MSCTA wie folgt dar:

- Die Methode hat eine hohe Treffsicherheit koronare Atherosklerose zu erkennen
- Das Ausmaß der Gefäßverkalkungen und auch der morphologischen Veränderung korreliert mit dem Schweregrad der KHK
- Ein unauffälliger MSCT-Befund schließt eine relevante KHK mit hoher Wahrscheinlichkeit aus

Das Potential der Methode als Basis für das klinische Management von möglichen KHK-Patienten ist demnach ein Normalbefund oder ein Befund mit atherosklerotische Veränderungen ohne relevante Lumeneinengung, die den Verzicht auf weitere Untersuchungen erlauben, während bei positivem Befund (CT Stenose > 50%) eine weitere Abklärung mit funktionellen Tests oder invasiver Angiographie erforderlich bleibt

Die Methode ist im klinischen Gebrauch am ehesten hilfreich, wenn eine ausreichend hohe Chance auf einen Normalbefund gegeben ist, nämlich bei Patienten mit niedrigem oder niedrig-intermediärem KHK-Risiko (Prävalenz). Das betrifft im klinischen Alltag eher eine kleine Gruppe von Patienten im gesamten kardiologischen Kollektiv.

Eine Limitation der Methode ist die schwierige Quantifizierbarkeit des Stenosegrades peripherer Gefäßsegmente

Nicht interpretierbare Gefäßsegmente schränken den diagnostischen Wert der CTA ein (was mit neueren Geräten ein zunehmend kleineres Problem ist)

Die CTA ist eine hervorragende Methode, um primär anatomische Fragen wie Koronaranomalien, die Lage der Koronararterien zu den großen Gefäßen, Länge von Gefäßverschlüssen, Vorhandensein und Offenheit von Bypässen zu beantworten

3. Derzeit empfohlene Anwendungsgebiete für MSCTA:

3.1. Die MSCTA erscheint derzeit in erster Linie zum Ausschluss einer koronaren Herzkrankheit bei selektierten Patienten mit eher niedriger oder niedrig- intermediärer Vortestwahrscheinlichkeit (Prävalenz), atypischer Symptomatik und unklarem Ischämietest geeignet:

-Patienten mit atypischen Thoraxschmerzen und nicht konklusiven Belastungstests, wenn ein niedriges oder niedrig- intermediäres Risiko für eine KHK (Prävalenz) vorliegt.

-Patienten mit nicht konklusiven Belastungstests bei geringer oder fehlender Klinik, wenn ein niedriges oder niedrig- intermediäres Risiko für eine KHK vorliegt.

-Patienten mit Ruhe-Thorax-Schmerzen ohne EKG Dynamik oder Enzymauslenkungen

-Patienten mit Thoraxschmerz, geringer Vortestwahrscheinlichkeit und Verdacht auf akutes Koronarsyndrom, wenn es um den Ausschluß einer wirksamen epikardialen Coronarstenose geht (65)

-Präoperative Untersuchung bei geplanter großer extrakardialer Operation oder Transplantation bei asymptomatischen Patienten (welche z.B. nicht ergometriert werden können) bzw. vor Herklappenoperationen, wenn ein niedriges oder intermediäres Risiko für eine KHK vorliegt

-Patienten mit Herzinsuffizienz unklarer Ätiologie

3.2. Patienten mit bekannter KHK, bei welchen die MSCTA der Koronarien zusätzliche Informationen zu Therapieplanung –und Monitoring bieten kann:

-Präoperativ vor Bypassoperationen, insbesondere vor minimal invasiven Eingriffen zur Evaluation der LIMA-Lage und des LAD Verlaufes.

-Patienten nach koronarer Bypassoperation, wenn die Hauptfrage die Offenheit und Morphologie des Bypasses und nicht die komplette koronare Situation ist.

-Bei koronarangiographisch dokumentiertem Gefäßverschluss zur Planung der perkutanen Intervention (Länge des Verschlusses); ggf komplementär bei speziellen invasiv- interventionellen Fragen (zB: Kalkgehalt von ostialen, Hauptstamm- und Bifurkationsläsionen) (66).

3.3. Ergänzende Anwendungsmöglichkeiten der MSCTA sind:

-Bei Patienten mit akutem Thoraxschmerz, wenn eine gleichzeitige Abklärung von KHK, Pulmonalembolie und Aortendissektion sowie pulmonaler Erkrankung erfolgen soll („triple rule out“ bzw. „chest pain triage“) (67- 70)

Darstellung der Koronargefäße bei hohem Risiko für CTEPH und niedrigem Risiko für KHK (z.B. weibliche Patientin < 35 Jahre, Phospholipidantikörper-positiv, Z.n. VTE)

-Patienten mit Verdacht auf Koronaranomalien (71,72)

-Kongenitale kardiale Vitien unter besonderer Berücksichtigung der großen Gefäße

-Intra- und perikardiale Raumforderungen wenn Echokardiographie und MRT nicht ausreichen

-Konstriktive Perikarditis, insbesondere Kalknachweis

-Vorhof/Lungenvenen-Beurteilung bei Vorhofflimmern zur geplanten Ablationstherapie

-Koronarvenendarstellung vor Implantation eines biventrikulären Schrittmachers (CRT Therapie)

-Patienten nach HTX (an spezialisierten Zentren) (73)

-Patienten zur Planung vor minimal invasiven Eingriffen an erworbenen Klappenvitien, z.B. im Rahmen von TAVI Planungen und Prozeduren (74 -79)

4. Generell ungeeignet erscheint derzeit die Methode bei folgenden Patienten:

-Symptomatische Patienten mit hoher Vortestwahrscheinlichkeit für KHK

-Symptomatische Patienten mit akutem Thoraxschmerz und hoher Vortestwahrscheinlichkeit

-Asymptomatische Patienten mit niedriger oder intermediärer Vortestwahrscheinlichkeit (Framingham, PROCAM). Bei diesen Patienten erscheint die Calziumscore Bestimmung am ehesten indiziert (siehe 1.2.), für die CTA gibt es bei diesen Patienten derzeit zuwenig Daten.

-Patienten mit eindeutig positivem Ischämietest (Ergometrie, Stress Echo, Nuklearmedizin)

-Regelmäßige Verlaufskontrollen bei Patienten mit bekannter KHK

-Nachuntersuchung von Patienten nach perkutaner Koronarintervention mit Implantation radiologisch sehr dichter, multipler oder weit peripher gelegener Stents (80 - 85)

5. Strahlenexposition

Die Strahlenexposition der MSCT der Koronararterien ist eine der wesentlichen Diskussionspunkte betreffend Anwendung und Einschränkung der Methode. Die fallweise publizierten sehr hohen Effektivdosen haben teilweise zu einer Skepsis gegenüber der koronaren CT Untersuchung geführt.

In einer Multicenterstudie (PROTECTION 1) wurde 2007 der damalige Zustand in fünfzig europäischen Zentren erhoben und hier zeigte sich eine beträchtliche Spannweite der Effektivdosis von 5,7 bis 36,5 mSv. Zudem fand sich in dieser Studie eine hohe Bandbreite der Strahlenbelastung innerhalb der teilnehmenden Zentren. Im Vergleich dazu liegt die durchschnittliche Effektivdosis der Katheterangiographie in der Größenordnung von 5,3 mSv. Auch für den Kalziumscore zeigte eine Literaturübersicht eine sehr hohe Variation der errechneten Effektivdosiswerte von 0,8 – 10,5 mSv (Median 2,3 mSv).

Folgende Strategien zur Dosisreduktion werden allgemein empfohlen:

1. Anpassung der Röhrenparameter an die Patientendimensionen (bis zu 50% Reduktion der Ausgangsdosis). (86)

2. EKG- Triggermodus: Mehrere Studien konnten für das prospektive Gating eine Dosisreduktionen von etwa 75% verglichen mit retrospektiv gegateten Untersuchungen nachweisen, wobei sich vor allem bei Patienten mit niedriger Herzfrequenz (<65/min) keine Einbuße der diagnostischen Performance zeigte.

Die Kombination der bisher genannten Protokolloptimierungen führen unter optimalen Voraussetzungen (schlanke Patienten mit niedriger Herzfrequenz) für die CT Angiographie zu einer Dosisreduktion auf Werte von deutlich unter 5 mSv (Ca Score 0,6 mSv).

3. Gerätetechniken:

Durch die Erhöhung der Anzahl der Schichten wird es möglich spezielle sequenzielle Akquisitionstechniken („step and shoot“, „Volume CT“) anzuwenden. Ein zweiter Ansatz ist die Anwendung von hohen Pitch - Faktoren (>3). Unter Anwendung dieser Techniken können Effektivdosen in der Größenordnung von 1mSv erreicht werden, wobei dies jedoch derzeit auf rhythmische und normofrequente Patienten beschränkt ist.

Zusammenfassend zeigt sich, dass bei Optimierung der Patientenprotokolle sowie durch neue technische Entwicklungen eine dramatische Dosisreduktion zu erzielen ist, welche Effektivdosen ermöglichen, die deutlich niedriger sind als die durchschnittlichen Dosiswerte der Katheterangiographie.

Appendix: Die Abschätzung der Effektivdosiswerte erfolgte in den Publikationen der letzten Jahre auf Basis der International Commission on Radiological Protection (ICRP). Es wurden in der Regel Konversionsfaktoren zwischen Dosislängenprodukt (DLP) und Effektivdosis von $0.017 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ oder $0.014 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ verwendet. Mit Veröffentlichung der ICRP 103 müssen die Konversionsfaktoren überarbeitet werden und werden gemäß vorläufigen Ergebnissen in Abhängigkeit von der Scantechnik voraussichtlich Werte von $0,027 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ – $0,031 \text{ mSv} \cdot \text{mGy}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ erreichen (87- 102).

6. Strukturelle und organisatorische Rahmenbedingungen

Aufbauend auf den Erfahrungen der Zentren, die MSCTA der Koronargefäße bisher durchführen, empfiehlt die interdisziplinäre Arbeitsgruppe kardiale MRT/CT der ÖKG und ÖRG folgende strukturelle und organisatorische Rahmenbedingungen, um den Patienten eine adäquate Untersuchungsqualität und optimale Betreuung anbieten zu können:

An Institutionen, an denen MSCTA-Untersuchungen der Koronargefäße durchgeführt und befundet werden, sollte im radiologischen Team ein(e) Kardiologe/In eingebunden sein. Dieser/diese Kardiologe/In sollte Kenntnisse eines kardiologischen Schnittbildverfahrens (z.B. Echokardiographie, MRT, Nuklearkardiologie), sowie der invasiven / interventionellen Kardiologie aufweisen.

An den o.g. Institutionen sollte ein(e) Kardiologe/In in die Befundung eingebunden sein (Consensus Reading, gemeinsame Vidierung), um den Transfer der Erfahrung aus der Katheterangiographie auf die nicht-invasive Untersuchungsmethode zu gewährleisten und den Konnex zum klinischen Hintergrund herzustellen.

Von kardiologischer Seite muss eine rasche und verlässliche Konsultationsmöglichkeit zu allen Problemen im Zusammenhang mit MSCTA-Untersuchungen von Koronargefäßen gewährleistet sein.

Die radiologische Einheit sollte in der Lage sein, die Datenakquisition am Gerät auch ohne kardiologische Unterstützung verlässlich zu gewährleisten.

Die Zuweisung eines Patienten sollte im Rahmen der erweiterten KHK Diagnostik vergleichbar mit anderen bildgebenden Verfahren erfolgen.

Für die MSCTA der Koronargefäße sollen folgende Zuweisungsinformationen vorliegen: Angabe der Indikation, der Ergebnisse etwaiger Voruntersuchungen (Echokardiographie, Ergometrie, Myokard-Scan, Herzkatheter), sowie Art und Lokalisation etwaiger Koronar-Interventionen (PTCA, Stentimplantation, Bypass-OP), rezente Werte der Nieren- (Kreatinin, BUN) und Schilddrüsenfunktion (TSH).

ANHANG:

Mitglieder der Interdisziplinären Arbeitsgruppe für kardiale MRT/CT der Österreichischen Gesellschaft für Kardiologie und der Österreichischen Gesellschaft für Radiologie, in alphabetischer Reihenfolge (ohne Titel) :

Kardiologie: G. Friedrich (MedUni Innsbruck) M. Gessner (Hanusch KH Wien), S. Globits (KH St. Pölten), T. Hafner (SMZ Süd Wien), P.Pichler (Med Uni Wien-AKH), N. Watzinger (Universität Graz), H. Schuchlenz (LKH Graz West), H. Sochor (MedUni Wien-AKH)

Radiologie: A. Artmann (Klinikum Wels-Grieskirchen), K. Hergan (Universität Salzburg), C. Loewe (MedUni Wien-AKH), B. Kaiser (KH St. Pölten), O. Sommer (BHS Schwarzach/St. Veit), E. Sorantin (Universität Graz), A. Stadler (SMZ Hietzing Wien), D. Tscholakoff (KH Rudolfstiftung Wien), T. Trieb (Universität Innsbruck), F. Wolf (MedUni Wien- AKH)

Dieser Leitfaden wurde von O.Pachinger (MedUni Innsbruck) und G.Feuchtner (MedUni Innsbruck) begutachtet.

Autoren der Erstfassung des Leitfadens 2007: H.Baumgartner, H.Frank, D.Glogar, M.Mori, T.Bader, F.Frühwald, W.Kopsa, G.Mostbeck

Der vorliegende Leitfaden wurde durch die aktuellen Vorstände der beteiligten Fachgesellschaften behandelt und genehmigt:

Vorstandsmitglieder der ÖKG: I. Lang (Präsident), B. Pieske (Präsident elect), F. Weidinger (Sekretär), K. Huber (Vizepräsident), FX Roithinger (AG Koordinator), S. Graf (Schriftführerin), R. Gasser (Schatzmeister), Th. Stefenelli (Fortbildungsreferent), G. Maurer , O. Pachinger

Vorstandsmitglieder der ÖRG: G. Mostbeck (Past-Präsident), W. Hruby (Präsident), C. Loewe (Sekretär), M. Aschauer (Schriftführerin), J. Trenkler (Kassier), D. Tscholakoff (Präsident elect), W. Jaschke (int. Angelegenheiten), W. Schima (Aus-, Fort- und Weiterbildung)

Literatur:

- 1) Einstein AJ, Henzlova MJ, Rajagopalan S. Estimating risk of cancer associated with radiation exposure from 64-slice computed tomography coronary angiography. *JAMA* 2007; 298 (3): 317-23
- 2) Smith-Bindman R, Lipson J, Marcus R, et al. Radiation dose associated with common CT examinations and the associated lifetime attributable risk of cancer. *ArchIntMed* 2009;169(22):2078-86
- 3) Rumberger JA, Schwartz RS, Simons DB et al. Relation of coronary calcium determined by electron beam computed tomography and lumen narrowing determined by autopsy. *Am J Cardiol* 1994;73:1169-73
- 4) Budoff MJ, Georgiou D, Brody A et al. Ultrafast computed tomography as a diagnostic modality in the detection of coronary artery disease: a multicenter study. *Circulation* 1996;93:898-904
- 5) Sangiorgi G, Rumberger JA, Severson A et al. Arterial calcification and not lumen stenosis is highly correlated with atherosclerotic plaque burden in humans: a histologic study of 723 coronary artery segments using noncalcifying methodology. *J Am Coll Cardiol* 1998;31:126-33
- 6) Rumberger JA, Simons DB, Fitzpatrick LA et al. Coronary artery calcium area by electron beam computed tomography and coronary atherosclerotic plaque area. A histopathologic correlative study. *Circulation* 1995;92:2157-62
- 7) Gschnitzer H, Stöger A, Friedrich G et al. Electron beam computed tomography detects calcifications but not plaque burden: an in vitro comparison with intravascular ultrasound. *Circulation* 1999; Vol. 100;18,Suppl 1:I-230
- 8) Rumberger JA, Behrenbeck T, Breen JF et al. Coronary calcification by electron beam computed tomography and obstructive coronary artery disease: a model for costs and effectiveness of diagnosis as compared with conventional cardiac testing methods. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:453-62
- 9) Rumberger JA, Sheedy PF, Breen JF et al. Electron beam computed tomographic coronary calcium score cut-points and severity of associated angiographic lumen stenosis. *J Am Coll Cardiol* 1997;29:1542-8
- 10) Gottlieb I, Miller JM, Arbab-Zadeh A, et al. The absence of coronary calcification does not exclude obstructive coronary artery disease or the need for revascularization in patients referred for conventional coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2010;55:627-34
- 11) Haberl R, Becker A, Leber A et al. Correlation of coronary calcification and angiographically documented stenoses in patients with suspected coronary artery disease: results of 1,764 patients. *J Am Coll Cardiol* 2001;37(2):451-7
- 12) Schmermund A, Möhlenkamp S, Berenbein S et al. Population-based assessment of subclinical coronary atherosclerosis using electron-beam computed tomography. *Atherosclerosis* 2006;185:177-182
- 13) Rumberger JA, Sheedy PF, Breen JF et al. EBCT coronary calcium score cutpoints and severity of associated angiographic lumen stenosis. *J Am Coll Cardiol* 1997;29:1542-8
- 14) Budoff MJ, Daimond GA, Raggi P et al. Continuous probabilistic prediction of angiographically significant coronary artery disease using EBT. *Circulation* 2002;105:1791-6
- 15) Möhlenkamp S, Lehmann N, Schmermund A et al. EBT-based coronary calcium quantities predict future hard events in symptomatic males with advanced coronary artery disease – a 5 year follow-up study. *Eur Heart J* 2003;24(9):845-54

- 16) He ZX, Hedrick TD, Pratt CM et al. Severity of coronary artery calcification by EBCT predicts silent myocardial ischemia. *Circulation* 2000;101:244-51
- 17) Möhlenkamp S, Schmermund A, Kerkhoff G et al. Prognostischer Nutzen der nicht-invasiven bestimmten koronaren Plaquelast bei Patienten mit Risikofaktoren. *Z Kardiol* 2003;92(5):351-61
- 18) Schmermund A, Bailey K, Rumberger JA et al. An algorithm for non-invasive identification of angiographic three-vessel and/or left main coronary artery disease in symptomatic patients on the basis of cardiac and EBCT calcium scores. *J Am Coll Cardiol* 1999;33:444-52
- 19) Schmermund A, Baumgart D, Adamzik M et al. Comparison of EBCT and IVUS in detecting calcified and non-calcified plaques in patients with acute coronary syndromes and no or minimal to moderate angiographic coronary artery disease. *Am J Cardiol* 1998;81:141-6
- 20) Sarwar A, Shaw LJ, Shapiro MD, et al. Diagnostic and prognostic value of absence of coronary calcification. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2(6):675-88
- 21) Michos ED, Nasir K, Braunstein JB, et al. Framingham risk equation underestimates subclinical atherosclerosis risk in asymptomatic women. *Atherosclerosis* 2006;184:201-6
- 22) Lakoski SG, Greenland P, Wong ND, et al. Coronary artery calcium scores and risk for cardiovascular events in women classified as 'low risk' based on Framingham risk score: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA) et *ArchInternMed* 2007;167(22):2437-42
- 23) Greenland P, LaBree L, Azen SP, et al. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA* 2004;291(2):210-5
- 24) McClelland RL, Chung H, Detrano R, et al. Distribution of coronary artery calcium by race, gender and age: results from the Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis (MESA). *Circulation* 2006;113(1):30-7
- 25) Oudkerk M, Stillman AE, Halliburton SS, et al. Coronary artery calcium screening: current status and recommendations from the European Society of Cardiac radiology and North American Society for Cardiovascular Imaging. *Int J Cardiovasc imaging* 2008; 24(6):645-71
- 26) Blaha M, Budoff MJ, Shaw LJ, et al. Absence of coronary artery calcification and all-cause mortality. *JACC Cardiovasc Imaging* 2009;2(6):692-700
- 27) Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, et al. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N Engl J Med* 2008;358:1336-45
- 28) Greenland P, Bonow RO, Brundage BH, et al. ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in the evaluation of patients with chest pain. *J Am Coll Cardiol* 2007;49: 378-402
- 29) Mc Cullough PA, Chinnaiyan KM. Annual progression of coronary calcification in trials of preventive therapies: a systematic review. *Arch Intern Med* 2009;169:2064-70
- 30) Maintz D, Seifarth H et al : 64-slice multidetector coronary CT angiography: in vitro evaluation of 68 different stents. *Eur Radiol* 2006 ;16 :818-826.
- 31) Cademartiri F, Mollet NR et al : Improving diagnostic accuracy of MDCT coronary angiography in patients with mild heart rhythm irregularities using ECG editing. *AJR* 2006 ;186 :634-638
- 32) Ropers U, Ropers D, Pflederer T et al. Influence of heart rate on the diagnostic accuracy of dual-source CT coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2007; 50 (25): 2393-2398
- 33) Achenbach S, Ropers D, Kuettner A et al. Contrast-enhanced coronary artery visualization by dual-source computed tomography—Initial experience. *European Journal of Radiology* 2006; 57: 331–335
- 34) Leber AW, Johnson T, Becker 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* 2007; 28(19): 2354-2360

- 35) Artmann A, Enayati S, Ratzenböck M et al. Bildqualität von CT-Angiografien der Koronararterien in Abhängigkeit vom Ausmaß der Koronarverkalkungen bei Einsatz eines Dual-Source-CTs. *Fortschr Röntgenstr* 2009; 181: 863–869
- 36) Scheffel H, Alkadhi H, Leschka S et al. Low-dose CT coronary angiography in the step-and-shoot mode: diagnostic performance. *Heart* 2008; 94: 1132-1137
- 37) Leschka L, Stolzmann P, Desbiolles L et al. Diagnostic accuracy of high-pitch dual sourceCT for the assessment of coronary stenoses: first experience. *Eur Radiol* 2009;19(12): 2896-2903
- 38) Alkadhi H, Scheffel H, Desbiolles L et al. Dual-source computed tomography coronary angiography: influence of obesity, calcium load, and heart rate on diagnostic accuracy. *Eur Heart J* 2008;29(6):766-776
- 39) Mowatt G, Cook J A, Hillis G S et al. 64-Slice computed tomography angiography in the diagnosis and assessment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis. *Heart* 2008; 94: 1386-1393
- 40) Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, et al. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a 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* 2006;114:1761-179
- 41) Patel MR, Hendel RC, Kramer CM, et al. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 2006;48:1475-1497
- 42) Pugliese F, Mollet NR et al: Diagnostic accuracy of non-invasive 64-slice CT coronary angiography in patients with stable angina pectoris. *Eur Radiol* 2006;16:575-582
- 43) Nikolaou K, Knez A et al : Accuracy of 64-MDCT in the diagnosis of ischemic heart disease. *AJR* 2006 ;186 :1659-1668
- 44) Leschka S, Wildermuth S et al : Noninvasive coronary angiography with 64-section CT: effect of average heart rate and heart rate variability on image quality. *Radiology* 2006 ;241 :378-385
- 45) Pannu HK, Jacobs JE et al : Coronary CT angiography with 64-MDCT: assessment of vessel visibility. *AJR* 2006 ; 186 :341-345
- 46) Nieman K, Pattynama PM, Rensing BJ. Evaluation of patients after coronary artery bypass surgery: angiographic assessment of grafts and coronary arteries. *Radiology* 2003;229:749-56
- 47) Frazier AA, Qureshi F et al : Coronary artery bypass grafts: assessment with multidetector CT in the early and late postoperative settings. *Radiographics* 2005 ;25 :881-896
- 48) Moore R, Sampson C et al : Coronary artery bypass graft imaging using ECG-gated multislice computed tomography: comparison with catheter angiography. *Clin Radiol* 2005 ;60 :990-998
- 49) Budoff M J, Dowe D, Jollis J et al. Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2008; 52: 1724-1732
- 50) Dewey M, Vavere A L, Arbab-Zadeh A et al. Patient characteristic as predictors of image quality and diagnostic accuracy of MDCT compared with conventional coronary angiography for detecting coronary stenoses: CORE-64 multicenter international trial. *AJR* 2010; 194: 93-10
- 51) Leschka S, Alkadhi H, Plass A, et al. Accuracy of MSCT coronary angiography with 64-slice technology: first experience. *Eur Heart J* 2005; 26:1482
- 52) Leber AW, Knez A, von Ziegler F, et al. 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* 2005; 46:147

- 53) 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* 2005; 46:552
- 54) Kopp AF, Schroeder S, Kuettner A et al. Non-invasive coronary angiography with high resolution multidetector-row CT. results in 102 patients. *Eur Heart J* 2002;23:1714-25
- 55) Budoff MJ, Dowe D, Jollis JG, et al (ACCURACY trial): Diagnostic performance of 64-multidetector row coronary computed tomographic angiography for evaluation of coronary artery stenosis in individuals without known coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1724-32
- 56) Miller JM, Rochitte CE, Dewey M et al: Diagnostic performance of coronary angiography by 64-row CT (Core 64). *N Engl J Med* 2008;359:2324-36
- 57) Dewey M, Zimmermann E, Deissenrieder F, et al: noninvasive coronary angiography by 320-row CT with lower radiation exposure and maintained diagnostic accuracy. *Circulation* 2009;120:867-875
- 58) Meijboom WB, Meijs MFL, Schuijf JD, et al: Diagnostic accuracy of 64-slice CT coronary angiography. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:2135-44
- 59) Maffei E, Palumbo A, Martini C, et al: Diagnostic accuracy of 64-slice CT coronary angiography in a large population of patients without revascularization: registry data and review of multicenter trial. *Radiol med* 2010;115:368-384
- 60) Raff GL, Abidov A, Achenbach S, et al. SCCT guidelines for the interpretation and reporting of coronary CT angiography. *Journal of Cardiovascular Computed Tomography* 2009;3:122-136
- 61) Achenbach S: Assessing the prognostic value of coronary CT angiography. *J Am Coll Cardiol* 2008;52:1344-6
- 62) Min J,K, Hachamovitch R, Rozanski A, et al: Clinical benefits of non-invasive testing:coronary computed tomography angiography as a test case. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3:305-15
- 63)Tamarappoo BK, Dey D, Nakazato R, et al: Comparison of the extent and severity of myocardial perfusion defects measured by CT coronary angiography and SPECT myocardial perfusion imaging. *JACC Cardiovasc Imaging* 2010;3:1010-9
- 64) Kirsch J, Araoz PA, Steinberg FB, et al: Prevalence and significance of incidental extracardiac findings at 64-multidetector coronary CTA. *J Thorac Imaging* 2007;22:330-4
- 65) Hoffmann U, Bamberg F, Chae CU et al: Coronary computed tomography for early triage of patients with acute chest pain (ROMICAT trial). *J Am Coll Cardiol* 2009;53:1642-50
- 66) Roguin A, Abadi S, Engel A, Beyar R. Novel method for real-time hybrid cardiac CT and coronary angiography image registration: visualising beyond luminology, proof-of-concept. *Eurointervention* 2009;4(5):648-53
- 67) Litmanovich D, Zamboni GA, Hauser TH et al. ECG-gated chest CT angiography with 64-MDCT and triphasic IV contrast administration regimen in patients with acute non-specific chest pain. *Eur Radiol* 2008;18:308-17
- 68) Rubinshtein R, Halon DA, Caspar T, et al. Impact of 64-slice cardiac CT angiography on clinical decision-making in emergency department patients with chest pain of possible myocardial ischemic origin. *Am J Cardiol* 2007;100:1522-6
- 69) Schertler T, Scheffel H, Frauenfelder T, et al. Dual-source computed tomography in patients with acute chest pain:feasibility and image quality. *Eur Radiol* 2007;17:3179-88
- 70) Vrachliotis TG, Bis KG, Haidary A, et al. Atypical chest pain: coronary, aortic, and pulmonary vasculature enhancement at biphasic single-injection 64-section CT angiography. *Radiology* 2007;243:368-76
- 71) Kim SY, Seo JB, et al. Coronary artery anomalies: classification and ECG-gated multidetector row CT findings with angiographic correlation. *Radiographics* 2006;26:317-334

- 72) Cademartiri F, La Grutta L, Malago R, et al. Prevalence of anatomical variants and coronary anomalies in 543 consecutive patients studied with 64-slice CT coronary angiography. *Radiol Med* 2008;113:363-75
- 73) Pichler P, Loewe C, Roedler S, et al. Detection of high-grade stenoses with multislice computed tomography in heart transplant patients. *J Heart Lung Transplant* 2008;27:310-6
- 74) Feuchtner GM, Dichtl W, Muller S, et al. 64-MDCT for diagnosis of aortic regurgitation in patients referred to CT coronary angiography. *Am J Roentgenol* 2008;191:W1-7
- 75) Alkadhi H, Desbiolles L, Husmann L, et al. Aortic regurgitation: assessment with 64-section CT. *Radiology* 2007;245:111-21
- 76) Jassal DS, Shapiro MD, Neilan TG, et al. 64-slice MDCT for detection of aortic regurgitation and quantification of severity. *Invest Radiol* 2007;42:507-12
- 77) Blanke P, Siepe M, Reinöhl, J, et al. Assessment of aortic annulus dimensions for Edwards SAPIEN transapical heart valve implantation by computed tomography: calculating average diameter using a virtual ring method. *Eur J Cardiothoracic Surg* 2010 (in press)
- 78) Ben-Dor I, Waksman R, Hanna NN, et al. Utility of radiologic review for noncardiac findings on MSCT in patients with severe aortic stenosis evaluated for transcatheter aortic valve implantation. *Am J Cardiol* 2010;105(10):1461-4
- 79) Koos R, Mahnken AH, Dohmen G, et al. Association of aortic valve calcification severity with the degree of aortic regurgitation after transcatheter aortic valve implantation. *Int J Cardiol* 2010 (in press)
- 80) Schuijf JD, Pundziute G, Jukema JW, et al. Evaluation of patients with previous coronary stent implantation with 64-section CT. *Radiology* 2007;245:416-23
- 81) Carbone I, Francone M, Algeri E, et al. Non-invasive evaluation of coronary artery stent patency with retrospectively ECG-gated-64-slice CT angiography. *Eur Radiol* 2008;18:234-43
- 82) Carraba N, Bamoshmoosh M, Carusi LM, et al. Usefulness of 64-slice MDCT for detecting drug eluting in-stent restenosis. *Am J Cardiol* 2007;100:1754-8
- 83) Das KM, El-Menyar AA, Salm AM, et al. Contrast-enhanced 64-section coronary MDCT angiography versus conventional coronary angiography for stent assessment. *Radiology* 2007;245:424-32
- 84) Hecht HS, Zaric M, Jelnin V, et al. Usefulness of 64-detector CT angiography for diagnosing in-stent restenosis in native coronary arteries. *Am J Cardiol* 2008;101:820-4
- 85) Manghat N, Van Lingen R, Hewson P, et al. Usefulness of 64-detector row CT for evaluation of intracoronary stents in symptomatic patients with suspected in-stent restenosis. *Am J Cardiol* 2008;101:1567-73
- 86) Feuchtner G, Jodocy D, Klausner A, et al: radiation dose reduction by using 100-kVtube voltage in cardiac 64-slice computed tomography: a comparative study. *European J of Radiology* 2010;75:e51-e56
- 87) The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP publication 103. *Ann ICRP* 2007; 37:1-332
- 88) Achenbach S, Marwan M, Ropers D, et al. Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition. *Eur Heart J*; 31:340-346
- 89) Alkadhi H, Stolzmann P, Scheffel H, et al. Radiation dose of cardiac dual-source CT: the effect of tailoring the protocol to patient-specific parameters. *Eur J Radiol* 2008; 68:385-391
- 90) Einstein AJ, Elliston CD, Arai AE, et al. Radiation dose from single-heartbeat coronary CT angiography performed with a 320-detector row volume scanner. *Radiology*; 254:698-706
- 91) Faulkner K, Werduch A. An estimate of the collective dose to the European population from cardiac X-ray procedures. *Br J Radiol* 2008; 81:955-962

- 92) Goetti R, Leschka S, Baumuller S, et al. Low dose high-pitch spiral acquisition 128-slice dual-source computed tomography for the evaluation of coronary artery bypass graft patency. *Invest Radiol*; 45:324-330
- 93) Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, et al. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography. *JAMA* 2009; 301:500-507
- 94) Hirai N, Horiguchi J, Fujioka C, et al. Prospective versus retrospective ECG-gated 64-detector coronary CT angiography: assessment of image quality, stenosis, and radiation dose. *Radiology* 2008; 248:424-430
- 95) Leschka S, Stolzmann P, Schmid FT, et al. Low kilovoltage cardiac dual-source CT: attenuation, noise, and radiation dose. *Eur Radiol* 2008; 18:1809-1817
- 96) Leschka L, Stolzmann P, Desbiolles L, et al. Diagnostic accuracy of high-pitch dual-source CT for the assessment of coronary stenoses: first experience. *Eur Radiol* 2009; 19(12):2896-2903
- 97) Lell M, Marwan M, Schepis T 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(11):2576-2583
- 98) Arnoldi E, Johnson TR, Rist C, et al. Adequate image quality with reduced radiation dose in prospectively triggered coronary CTA compared with retrospective techniques. *Eur Radiol* 2009; 19: 2147–215597)
- 99) Rybicki F J, Otero H J, Steigner M L, et al. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging* (2008) 24:535-546
- 100) Scheffel H, Alkadhi H, Leschka S, et al. Low-dose CT coronary angiography in the step-and-shoot mode: diagnostic performance. *Heart* 2008; 94:1132-1137
- 101) Stolzmann P, Leschka S, Betschart T, et al. Radiation dose values for various coronary calcium scoring protocols in dual-source CT. *Int J Cardiovasc Imaging* 2009; 25:443-451
- 102) Stolzmann P, Leschka S, Scheffel H, et al. Dual-source CT in step-and-shoot mode: noninvasive coronary angiography with low radiation dose. *Radiology* 2008; 249:71-80