

Nichtinvasive Angiographie koronarer Bypassgefäße mit dem Cardio-CT in einer kardiologischen Praxis

Sigmund Silber, Stefan Finsterer, Ingeborg Krischke, Peter Lochow, Holger Mühling¹

Hintergrund: Die koronare Bypassoperation stellt unverändert eine tragende Säule in der Behandlung der koronaren Herzerkrankung dar: So wurden im Jahr 2001 in Deutschland 75 537 koronare Bypassoperationen durchgeführt. Die „Haltbarkeit“ koronarer Bypassgefäße ist jedoch limitiert: Nach 3 Jahren sind 20–30% der Bypassgefäße verschlossen, die Herzinfarktrate steigt 8 Jahre nach einer Bypassoperation deutlich an. Da der klinische Verlauf der Patienten eng mit der Offenheitsrate der Bypassgefäße korreliert, wäre es für die Patienten wichtig, die Offenheitsrate ihrer Bypassgefäße rechtzeitig zu überprüfen und einen Bypassverschluss zu erkennen, bevor die Mehrzahl der Bypassgefäße verschlossen ist. Hierzu bietet sich die ultraschnelle Computertomographie mittels Mehrschichtaufnahme-technik (MSCT) an. Die vorliegende Arbeit beschreibt unsere ersten Erfahrungen mit dem MSCT in einer kardiologischen Praxis mit der Fragestellung, ob diese neue Methode praxisrelevante Informationen liefert.

Patienten und Methodik: Die Untersuchungen wurden im Herzdiagnostikzentrum München mit einem Mx 8000 4-Zeilen-Spiral-CT bei einer effektiven Schichtdicke von 1,3 mm, 120 kV und 300 mAs mit ca. 120 ml Kontrastmittel in Doppelbolus-technik durchgeführt. Die Bildrekonstruktion erfolgte für fünf Herzphasen zwischen 50% und 70% des R-R-Intervalls. Somit

wurden insgesamt ca. 1 500 Schichten rekonstruiert. 74 Patienten ohne Angina pectoris oder Ischämienachweis wurden im Mittel 5 Jahre nach der Operation untersucht.

Ergebnisse: Von den insgesamt 220 untersuchten Bypassgefäßen waren 132 venös und 88 arteriell. 177 Bypassgefäße wurden als offen und 42 als verschlossen eingestuft, ein Venenbypass als hochgradig stenosiert. Im Vergleich zur Herzkatheteruntersuchung ergaben sich eine Sensitivität des Cardio-CT hinsichtlich der Erkennung eines Bypassverschlusses von 100% und eine Spezifität von 96%. Der einzige „falsch positive“ Verschluss war eine dünnkalibrige LIMA.

Schlussfolgerung: Unsere Ergebnisse zeigen, dass die nichtinvasive Bypassangiographie mit dem ultraschnellen MSCT praxisrelevante Informationen liefert. Die nichtinvasive Bypassangiographie mit dem Cardio-CT richtet sich vor allem an beschwerdefreie Patienten ohne Ischämienachweis („Bypass-TÜV“), um rechtzeitig asymptomatische Bypassverschlüsse zu erkennen. Bei einem asymptomatischen Bypassverschluss wäre es sinnvoll, über eine Koronar- bzw. Bypassintervention aus prognostischen Gründen nachzudenken. Immerhin hatte im Mittel 5 Jahre postoperativ fast jeder dritte Patient einen unerwarteten Bypassverschluss.

Schlüsselwörter: CT · Nichtinvasive Angiographie · Bypass

Herz 2003;28:126–35

DOI 10.1007/s00059-003-2464-1

Noninvasive Angiography of Coronary Bypass Grafts with Cardio-CT in a Cardiology Practice

Background: The role of coronary artery bypass surgery as a key foundation in the therapy of coronary artery disease remains unchanged: in Germany in 2001, 75,537 coronary bypass procedures were performed. However, the endurance of coronary bypass grafts is limited: after 3 years, 20–30% of the bypass grafts have occluded. The myocardial infarct rate significantly increases 8 years after bypass surgery. Since the clinical outcome of the patients is closely related to the patency rate of their bypass grafts, it would be important for the patients to

have the patency rate of their bypass grafts assessed on time to detect any occluded bypass grafts before the majority of the grafts become occluded. Recently, multi-slice computed tomography (MSCT) offers an attractive tool for this purpose. This paper describes our first experiences with MSCT in our cardiology practice and regards whether this new method provides relevant information for a cardiology practice.

Patients and Methods: Studies were performed at the Heart Diagnostic Center in Munich with an Mx 8000 four-row spiral

¹Kardiologische Gemeinschaftspraxis und Herzdiagnostikzentrum, München.

CT with an effective slice thickness of 1.3 mm, 120 kV at 300 mAs and approximately 120 ml of contrast medium in double bolus technique. Image reconstruction was performed for 5 heart phases between 50% and 70% of the RR intervals. Thus, a total of over 1,500 slices were reconstructed. 74 patients without angina or proof of myocardial ischemia had noninvasive bypass angiography at a mean of 5 years after surgery.

Results: Of the total of 220 investigated bypass grafts, 132 were venous and 88 were arterial. 177 bypass grafts were classified as open, 42 as occluded; and one venous bypass graft was highly narrowed. Compared with cardiac catheterization, the sensitivity of the cardio-CT regarding the occlusion of a by-

pass graft was 100% with a specificity of 96%. The only "false positive" occlusion was a LIMA with a small lumen.

Conclusions: Our results show that noninvasive bypass angiography with the ultrafast multi-slice CT (MSCT) provides relevant information for the practicing cardiologist. Noninvasive bypass angiography with a cardio-CT predominantly aims at asymptomatic patients without proof of myocardial ischemia ("bypass check") for the detection of asymptomatic occluded bypass grafts as early as possible. In patients with asymptomatic bypass occlusion, considering a coronary or bypass intervention for prognostic reasons is an option. It is important to note that in our study in a mean of 5 years after bypass surgery almost every third patient had an unexpected bypass graft occlusion.

Key Words: CT · Noninvasive angiography · bypass

Einleitung

Die koronare Bypassoperation stellt unverändert eine tragende Säule in der Behandlung der koronaren Herzkrankung dar: So wurden im Jahr 2001 in Deutschland 75 537 koronare Bypassoperationen (71 215 mit und 4 322 ohne Herz-Lungen-Maschine) durchgeführt [12]. Die „Haltbarkeit“ koronarer Bypassgefäße ist jedoch limitiert: Schon 11 Tage postoperativ sind 1,3% der LIMA-Bypassgefäße [9] und nach 1 Jahr 3,4–5,7% der arteriellen Bypassgefäße nicht mehr durchgängig [53]. Ebenfalls nach 1 Jahr finden sich bei 16,7% der Frauen und bei 12,4% der Männer verschlossene venöse Bypassgefäße [53], die Mortalität beträgt 2,8% und die Herzinfarktrate 4% [45]. Nach 3 Jahren sind 20–30% der Bypassgefäße verschlossen [22], wobei die Bedeutung des Diabetes mellitus als Risikofaktor für eine erhöhte Bypassverschlussrate wohl überschätzt wurde [6, 44]. Wie die Erfahrung zeigt, muss der Verschluss eines Bypassgefäßes bei Patienten mit koronarer Mehrgefäßerkrankung und multiplen Bypassgefäßen nicht unbedingt zum Auftreten einer Angina pectoris bzw. eines Ischämienachweises führen, sodass diese Bypasspatienten erst spät, wenn bereits mehrere Bypassgefäße verschlossen sind, ärztliche Hilfe suchen. 8 Jahre nach koronarer Bypassoperation sind 17,3% der Patienten verstorben [7, 28], die Herzinfarktrate steigt 8 Jahre nach einer Bypassoperation deutlich an [14]. Da der klinische Verlauf der Patienten eng mit der Offenheitsrate der Bypassgefäße korreliert [53], wäre es für die Patienten wichtig, die Offenheitsrate ihrer Bypassgefäße rechtzeitig, d.h. in regelmäßigen Zeitabständen, unabhängig von der Symptomatik zu überprüfen und einen Bypassverschluss zu erkennen, bevor die Mehrzahl der

Bypassgefäße verschlossen ist. Da bei Bypasspatienten ohne Angina pectoris jedoch generell Herzkatheteruntersuchungen zur Offenheitskontrolle nicht empfohlen werden können, wäre es von Bedeutung, ein nichtinvasives Verfahren zur anatomischen Darstellung der Bypassgefäße zur Verfügung zu haben. Hierzu bietet sich die ultraschnelle Computertomographie mittels Mehrschichtaufnahmetechnik (MSCT) an.

Die folgende Arbeit beschreibt unsere ersten Erfahrungen mit dem MSCT in einer kardiologischen Praxis mit der Fragestellung, ob diese neue Methode praxisrelevante Informationen liefert.

Patienten und Methodik

Die Untersuchungen erfolgten im Herzdiagnostikzentrum München (hdz, www.herzdiagnostik.com) mit einem Philips Mx 8000 4-Zeilen-Spiral-CT. Bei einer kollimierten Schichtdicke von 1,0 mm und einer effektiven Schichtdicke von 1,3 mm erfolgten die Aufnahmen mit einer Schichtüberlappung (Inkrement) von 0,6 mm und einem mittleren Tischvorschub von 3,0–3,4 mm/s. Die gesamte Aufnahmezeit lag – je nach Ausdehnung der Längsachse des Herzens und entsprechendem Tischvorschub – bei ca. 35–50 s. Als Röntgenparameter wählten wir im Spiralmodus eine Röhrenspannung von 120 kV bei 300 mAs. Das EKG wurde kontinuierlich mitregistriert. Zur Erzielung einer für die Bildqualität optimalen Herzfrequenz von < 60/min wurden – falls erforderlich – meist 100–200 mg Metoprolol oral verabreicht.

Kontrastmittelapplikation

Zunächst erfolgte eine Bolusinjektion von 20 ml Kontrastmittel (Xenetix® 350; entspricht 76,78 g Iobi-

tridol/100 ml) zur Messung der individuellen Zeitdifferenz zwischen Beginn der intravenösen Injektion und der Kontrastmittelanflutung in der Aorta ascendens. Diese Zeitdifferenz lag durchschnittlich bei ca. 10–20 s. Im Anschluss hieran erfolgte die eigentliche Aufnahme mittels „retrospektiven Gatings“ nach Applikation von 120 ml Kontrastmittel im Doppelbolusverfahren (30 ml mit 4 ml/s und 90 ml mit 2 ml/s).

Die Bildrekonstruktion zum Zeitpunkt „0“ (= 60% des R-R-Intervalls) resultierte in ca. 240 Schichten und wurde für andere Herzphasen wiederholt, d.h. zu 50%, 55%, 65% und 70% des R-R-Intervalls. Somit wurden insgesamt ca. 1 500 Schichten rekonstruiert. Die Rekonstruktion zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Herzaktion ist wichtig, um eine möglichst optimale Beurteilbarkeit der Gefäße in den verschiedenen Herzphasen zu ermöglichen. Die Auswertung erfolgte mit der sys-

teminhärenten Software der Fa. Philips (Version 3.51) und umfasste die Betrachtung der axialen Schnitte, MPR, MIP und 3-D-Rekonstruktion („clipping slab“-Technik). Die Durchgängigkeit der Bypassgefäße wurde visuell in „offen“, „hochgradig stenosierte“ und „verschlossen“ eingeteilt. Je nach Bildqualität und Komplexität der durchgeführten Operation dauerte die Auswertung durch den Untersucher bis zu 60 min pro Patient. Die Patienten müssen selbstverständlich nicht so lange verbleiben.

Patienten

Insgesamt wurden 74 Patienten untersucht. Eine Angina pectoris oder ein Ischämienachweis lag nicht vor. Das mittlere Alter der Patienten betrug 65 ± 9 (41–86) Jahre, der Frauenanteil 6,8%. Die Untersuchungen erfolgten im Mittel $4,9 \pm 4,7$ (0,15–20,8) Jahre nach der Operation, bei der pro Patient ein bis fünf Bypassgefäße angelegt worden waren. Somit wurden insgesamt 220 Bypassgefäße überprüft; hiervon waren 132 (60%) venös und 88 (40%) arteriell.

Ergebnisse

Von den 220 Bypassgefäßen wurden 177 (80,5%) als offen und 42 (19,1%) als verschlossen eingestuft. Ein Venenbypass war hochgradig stenosiert.

Von den 132 venösen Bypassgefäßen wurden 96 (70,4%) und von den 88 arteriellen Bypassgefäßen 81 (92%) als offen eingestuft (s.a. Fallbeispiele Abbildungen 1 bis 5, weitere Einzelheiten sind Tabelle 1 zu entnehmen).

Insgesamt waren bei 27 Patienten (36,4%) Bypassgefäße verschlossen. Bei sechs dieser Patienten war der Bypassverschluss schon durch eine vorausgegangene Linksherzkatheteruntersuchung bekannt. Dagegen war bei den übrigen 21 Patienten (28,4%) der Bypassverschluss ein neu erhobener Befund, also unerwartet. Bei zwei dieser Patienten haben wir in Anbetracht der Befundlage, d.h. wegen der fehlenden Konsequenzen, auf eine invasive Kontrollangiographie verzichtet (Abbildung 5). Bei 19 Patienten haben wir jedoch in Anbetracht der Gesamtsituation eine invasive Diagnostik empfohlen; 13 dieser Patienten waren hiermit einverstanden. Bei ihnen wurden 38 Bypassgefäße invasiv nachuntersucht, 24 venöse und 14 arterielle (Tabelle 2).

Insgesamt wurden alle in der Linksherzkatheteruntersuchung als verschlossen dokumentierten Bypassgefäße zuvor mit dem Cardio-CT richtig als verschlossen erkannt. Bei einem Patienten wurden im



Abbildung 1. Nichtinvasive Bypassangiographie zweier einzelner aortokoronarer Venenbypassgefäße auf RIVA und RCx. Die Bypassoperation wurde vor 4 Jahren durchgeführt, der Patient ist bezüglich einer typischen Angina-pectoris-Symptomatik beschwerdefrei, klagt jedoch über unspezifische, nicht sicher belastungsinduzierte thorakale Beschwerden. Die CT-angiographische Untersuchung konnte einen Bypassverschluss ausschließen.

Figure 1. Noninvasive bypass angiography of two single aortocoronary venous bypass grafts to LAD and RCx. Bypass surgery was performed 4 years ago; the patient is free of angina pectoris, but he complains of nonspecific, exercise-independent chest pain. The CT-angiography ruled out a bypass occlusion.



Abbildung 2. Nichtinvasive Bypassangiographie eines venösen Jump-Bypasses zum proximalen RCx, continuing to the obtuse marginal branch. The LIMA bypass graft to the LAD is also open. The discontinued looking structure in the upper segment of the LIMA is an artifact based on the chosen slice reconstruction, which demonstrates the complexity involved in post-processing.

Figure 2. Noninvasive bypass angiography of a venous jump-bypass to the proximal RCx, continuing to the obtuse marginal branch. The LIMA bypass graft to the LAD is also open. The discontinued looking structure in the upper segment of the LIMA is an artifact based on the chosen slice reconstruction, which demonstrates the complexity involved in post-processing.

Cardio-CT ein verschlossener Venenbypass sowie ein verschlossener LIMA-Bypass diagnostiziert. Der Venenbypassverschluss konnte bestätigt werden, die LIMA war jedoch bei insgesamt sehr dünnkalibrigem Verlauf und flauem Fluss bei der selektiven, invasiven Darstellung noch offen. Tabelle 3 vergleicht die Ergebnisse des Cardio-CT mit denen der Linksherzkatheteruntersuchung. Somit ergeben sich eine Sensitivität des Cardio-CT hinsichtlich der Erkennung eines Bypassverschlusses von 100% und eine Spezifität von 96%. Der einzige „falsch positive“ Verschluss war die dünnkalibrige LIMA.

Diskussion

Unsere Ergebnisse zeigen, dass die nichtinvasive Bypassangiographie mit dem ultraschnellen MSCT praxisrelevante Informationen liefert: So fanden wir in unserer Untersuchungsreihe eine Sensitivität zum Nachweis eines Bypassverschlusses von 100% bei einer Spezifität



Abbildung 3. Nichtinvasive Bypassangiographie zweier offener singulärer Venenbypassgefäße zum RIVA und zu einem großen Marginalast des RCx. Es zeigt sich eine gute Beurteilbarkeit der Anastomose zum Marginalast.

Figure 3. Noninvasive bypass angiography showing two open single venous bypass grafts to LAD and to a large obtuse marginal ramus of the RCx. Even the distal anastomosis to the marginal branch is well delineated.

von 96%. Bei 28% der Patienten war der gefundene Bypassverschluss unerwartet.

Die meisten früheren Untersuchungen zur nichtinvasiven Bypassangiographie mit dem ultraschnellen CT wurden mit der Elektronenstrahltomographie (EBCT) durchgeführt [27, 29]. Vorteil des EBCT ist seine kurze Aufnahmezeit von 100 ms (eine Schicht pro Herzschlag), nachteilig hingegen seine Schichtdicke von 3,0 mm sowie die hohen Anschaffungskosten. Daten zum Stellenwert des EBCT in der Erkennung von Bypassverschlüssen liegen nur vereinzelt vor [29]. Limitiert waren diese Arbeiten vor allem durch niedrige Fallzahlen bzw. niedrige Vergleichsraten zur invasiven Diagnostik [15]. In zwei Studien wurden für das EBCT Werte für die Sensitivität zum Nachweis von Verschlüssen arterieller Bypassgefäße von 80% und 95%, für Verschlüsse venöser Bypassgefäße von 91,7% und 100% berichtet [23, 25]. Bei routinemäßiger invasiver Diagnostik fanden sich an 56



Abbildung 4. Nichtinvasive Bypassangiographie eines unauffälligen LIMA-Bypasses zum RIVA.

Figure 4. Noninvasive bypass angiography of an open LIMA bypass to the LAD.

Bypassgefäßen eine Sensitivität und Spezifität von jeweils 100% [3].

Als Alternative zur EBCT hat sich in den letzten Jahren die MSCT herauskristallisiert: Im Gegensatz zum EBCT weist das MSCT zwar eine längere Aufnahmezeit von 250 ms auf (gleichzeitig vier Schichten pro Herzschlag), seine effektive Schichtdicke von 1,3 mm ist jedoch der des EBCT überlegen. Dies zeigt sich auch in einer verbesserten Auflösung von neun Linienpaaren/cm für das MSCT im Vergleich zu sechs Linienpaaren/cm für das EBCT [56]. Aufgrund seiner deutlich geringeren Anschaffungskosten ist das MSCT wesentlich weiter verbreitet [32, 40].

In den Anfangsphasen war die nichtinvasive Bypassangiographie mit dem konventionellen CT durch längere Rotations- und somit Aufnahmezeiten limitiert, anfangs standen nur „1-Zeiler“ zur Verfügung [51, 54]. Auch diese Studien waren durch niedrige Fallzahlen und fehlenden Vergleich zu den Herzkatheterbefunden in ihrer Aussagekraft begrenzt [51]. Eine andere Studie war durch die verwendete Schichtdicke von 5 mm problematisch [55]. Bei einer MEDLINE-Suche haben wir zum Thema „Sensitivität und Spezifität des MSCT für koronare Bypassverschlüsse“ lediglich zwei Publikationen gefunden: Ropers et al. [43] berichteten bei 65 konsekuti-

ven Patienten, die zur Herzkatheteruntersuchung eingewiesen wurden, für die 182 Bypassgefäße eine Sensitivität von 97% und eine Spezifität von 98%. In der anderen Arbeit wurde bei 40 Patienten und 133 Bypassgefäßen eine Sensitivität für LIMA-Gefäße von 76% und für venöse Gefäße von 100% beschrieben [19].

Da Bypassgefäße grundsätzlich einen größeren Durchmesser aufweisen als die nativen Koronargefäße und weniger Bewegungsartefakten unterliegen, wundert es nicht, dass Sensitivität und Spezifität für Bypassgefäße im Mittel höher liegen als die für Nativgefäße: So werden Werte für Sensitivität und Spezifität zum Nachweis einer Koronarstenose bzw. eines Koronarverschlusses für das Cardio-CT von 74% bis 92% bzw. von 74% bis 94% berichtet [2, 4, 38, 42, 58].

Limitationen

Für die MSCT-Bypassangiographie ist es wichtig, während der Untersuchung bis zu 40 s die Luft anzuhalten. Die Patienten können dies zu Hause trainieren und zum Untersuchungstag über die mögliche Dauer berichten. Danach richten sich dann die Geräteeinstellungen (z.B. Tischvorschub und Scanlänge), um eine möglichst optimale Bildqualität zu erreichen. Bei zu schnellem Tischvorschub ergeben sich allerdings unvermeidbare „Lochartefakte“. Die Notwendigkeit des längeren Atemanhaltens – insbesondere zur vollständigen Erfassung von Arteriae-mammariae-Bypassgefäßen bei Patienten mit steiler Herzachse – ist eine Limitation, die allerdings auch für das EBCT gilt: Dort wurde versucht, die Atemanhaltezeit durch Präoxygenierung mit 100% Sauerstoff zu verlängern [20].

Der Verlauf dünnkalibriger arterieller Bypassgefäße lässt sich zwar anhand der Metallclips gut nachvollziehen – bei kleinem Lumen und schlechtem Fluss kann aber durchaus ein offener LIMA-Bypass als „verschlossen“ eingestuft werden (s. Ergebnisse).

Stärkere Kalzifizierungen sowie Stents können die Aussagekraft beeinträchtigen: So wurden in einer Studie Bypassgefäße mit Stentimplantation von der Auswertung ausgeschlossen [43].

Die Beurteilung der distalen Anastomosen war nicht Gegenstand dieser Untersuchung. Sie ist mit dem 4-Zeiler oft nicht einfach und nicht immer so gut möglich wie in Abbildung 3. Möglicherweise kann durch die 16-Zeiler die Beurteilbarkeit der distalen Anastomosen verbessert werden: Ihre Schichtdicke ermöglicht mit < 1 mm nahezu isotrope Rekonstruktionen, und die Aufnahmezeit pro Bild kann durch die „Sektortechnik“ auf

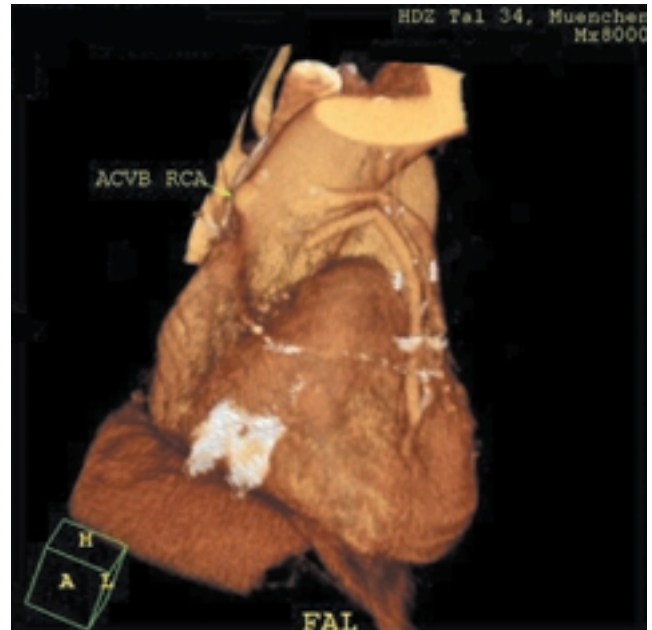
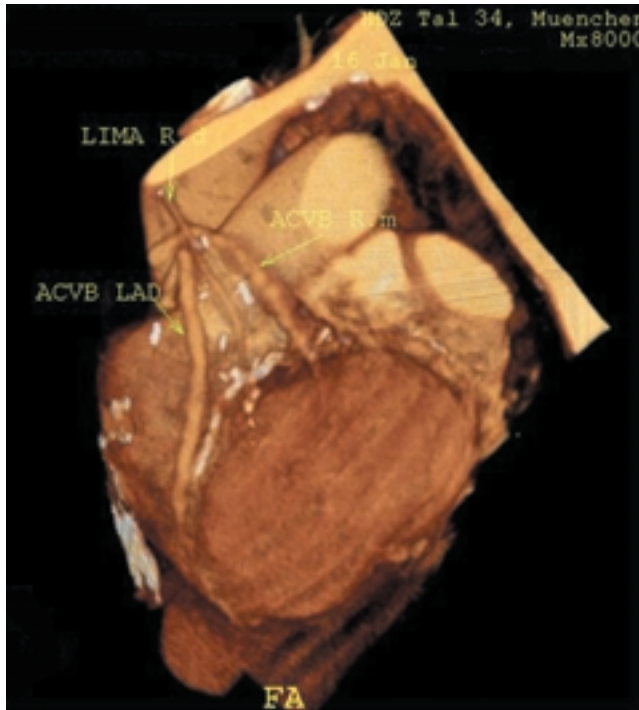


Abbildung 5b – Figure 5b

Abbildung 5a – Figure 5a

Abbildungen 5a und 5b. Nichtinvasive Bypassangiographie nach koronarer Vierfach-Bypassoperation. Der beschwerdefreie Patient kam mit der Frage, ob trotz Beschwerdefreiheit die Bypassgefäße 12 Jahre nach der Operation noch offen seien. Damals wurden ein LIMA-Bypass zum Ramus diagonalis sowie je ein singulärer Venenbypass zum RIVA, Ramus marginalis und zur RCA angelegt. Unauffällige Darstellung der Venenbrücken zum RIVA (LAD) und Ramus marginalis sowie offener LIMA zum Ramus diagonalis (a). Der Venenbypass zur RCA ist am Abgang verschlossen. Man erkennt den typischen Bypass-Stumpf an der Aorta (b).

Wie dem präoperativen Katheterbefund zu entnehmen war, ist die RCA klein angelegt und war damals proximal verschlossen, sodass wegen fehlender Konsequenzen auf eine Herzkatheteruntersuchung verzichtet werden konnte.

Figures 5a and 5b. Noninvasive bypass angiography following quadruple bypass surgery. The asymptomatic patient presented and asked whether all bypass grafts were still open 12 years after surgery. He had had a LIMA to the diagonal branch and three single venous bypass grafts to the LAD, to the marginal ramus of the RCx and to the RCA.

Figure 5a shows a normal visualization of the venous grafts to the LAD as well as the marginal ramus and the open LIMA to the diagonal branch. Figure 5b depicts the stump at the origin of the occluded venous bypass graft to the RCA.

As known from the preoperative cardiac catheterization report, the RCA is small and was occluded 12 years ago. Therefore, renewed cardiac catheterization could be skipped due to the lack of consequences.

ca. 125 ms halbiert werden [24]. Die Wahrscheinlichkeit eines Atemartefakts für die distalen Anastomosen ist bei halbiertem Aufnahmezeit von 20 s geringer.

Die optimale Herzfrequenz für das MSCT liegt < 60/min, um bei der vorgegebenen Aufnahmezeit von 250 ms zwischen Ende der Systole und noch vor Beginn der Vorhofkontraktion – also unter möglichst optimalen „Ruhebedingungen“ – die Bildaufnahme durchzuführen. Neben dieser bradykardiebedingten Bewegungsartefaktreduktion kann die damit verbundene verlängerte Diastolendauer eine kräftige Kontrastmittelfüllung der Koronarien und Bypassgefäße gewährleisten. Zur Frequenzsenkung wird je nach Blutdrucklage und eventuellen Kontraindikationen ein intravenös-

ser Betablocker appliziert (z.B. 5 mg Metoprolol fraktioniert). Esmolol erbrachte bei den schon normofrequenten Patienten nicht den erwünschten Effekt, zudem ist die geforderte kontinuierliche Infusion umständlicher. Bei den meisten Patienten lässt sich mit einer oralen Medikation von 100 mg Metoprolol ein akzeptables Ergebnis erzielen. Vorhofflimmern ist grundsätzlich aufgrund des retrospektiven EKG-Gatings kein Hinderungsgrund für die CT-angiographische Untersuchung, jedoch sollte auch hier auf eine Herzfrequenz < 60/min geachtet werden. Ob mit dem 16-Zeiler unter Verwendung spezieller Rechenprogramme auch Frequenzen > 60/min ohne Qualitätsverlust akzeptabel sind, muss noch untersucht werden [24].

Tabelle 1. Ergebnisse der nichtinvasiven Bypassangiographie.
Table 1. Results of noninvasive bypass angiography.

	Alle Bypass-gefäße	Venöse	Arterielle	LIMA	RIMA	Arteria radialis
Gesamt	220	132	88	63	17	8
Offen	177	96	81	59	14	8
Verschlossen	42	35	7	4	3	0
Hochgradig stenosierte	1	1	0	0	0	0

Tabelle 2. Ergebnisse der invasiven Bypassangiographie.
Table 2. Results of invasive bypass angiography.

	Alle Bypass-gefäße	Venöse	Arterielle	LIMA	RIMA	Arteria radialis
Gesamt	38	24	14	12	2	0
Offen	26	15	11	9	2	0
Verschlossen	11	8	3	3	0	0
Hochgradig stenosierte	1	1	0	0	0	0

Tabelle 3. Vergleich der Ergebnisse für das Cardio-CT (CTA) und die Linksherzkatheteruntersuchung (LHK).
Table 3. Comparison of the results of the cardio CT (CTA) and cardiac catheterization (LHK).

	Alle Bypass-gefäße		Venöse		Arterielle		LIMA		RIMA		Arteria radialis	
	CTA	LHK	CTA	LHK	CTA	LHK	CTA	LHK	CTA	LHK	CTA	LHK
Offen	25	26	15	15	10	11	8	9	2	2	0	0
Verschlossen	12	11	8	8	4	3	4	3	0	0	0	0
Hochgradig stenosierte	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Schrittmacherträger sind von der Möglichkeit der CT-angiographischen Untersuchung nicht ausgeschlossen, eine Schrittmacher- oder Eigenfrequenz von < 60/min ist auch hier anzustreben. Es kann jedoch zur Strahlenüberlagerung („blooming“) aufgrund der Schrittmachersonde(n) vornehmlich im Bereich des Versorgungsgebiets der RCA kommen. Teilweise zeigt sich jedoch eine falsche EKG-Triggerung, wenn der Computer einen hohen Ventrikel- oder Vorhofspike als R-Zacke interpretiert.

Bei der nichtinvasiven Bypassangiographie mit dem Cardio-CT entfallen die arterielle Punktion und die selektive Sondierung der Ostien mit den damit verbundenen Risiken [31, 47, 48]. Dennoch bleibt die Möglichkeit der klassischen Komplikationen einer Kontrastmittelgabe. Daher sollten durch eine aktuelle Laboruntersuchung zumindest die Schilddrüsenwerte, Nierenwerte und Elektrolyte abgeklärt sein. Das Risiko einer Kontrastmittelallergie ist kalkulierbar, da bei allen Patienten vor der Bypassoperation bereits eine Linksherzkatheteruntersuchung durchgeführt worden ist und somit evtl. aufgetretene Allergien bekannt sind. Der Patient muss – wie bei allen intravasalen Kontrastmittelapplikationen – nüchtern zur Untersuchung erscheinen.

Die CT-Angiographie ist eine Untersuchung mit Röntgenstrahlen. Für die koronare CT-Angiographie

sind im Spiralmodus 3–5 mSv zu kalkulieren [33]; damit liegt sie im Bereich der Linksherzkatheteruntersuchung (4–8 mSv). Zum Vergleich dieser Größenordnung dient die neue Strahlenschutzverordnung, in der eine Röntgengodosis für den Fetus bzw. Embryo von 1 mSv erlaubt ist [21]. Die zusätzliche Beurteilung der rechts- und linksventrikulären Funktion, der Myokardperfusion sowie der Herzklappen ist beim Cardio-CT ein „Nebenprodukt“ [13, 18] und sollte wegen der Strahlenexposition keine primäre Indikation darstellen.

Gibt es Alternativen?

Die Kernspintomographie (NMR, MRT, MR) stellt grundsätzlich eine mögliche Alternative zum Cardio-CT dar [4, 10, 16, 19, 57]. In einer früheren vergleichenden Untersuchung war das Cardio-CT dem MRT in der Beurteilung der Durchgängigkeit von Bypassgefäßen überlegen [50], insbesondere bei arteriellen Bypassgefäßen [29]. In einer anderen Studie an 29 Patienten (74 Bypassgefäße) fand sich eine Sensitivität von 95% bei einer Spezifität von 94% [61], in einer weiteren Studie an 18 Patienten mit 51 Bypassgefäßen eine Sensitivität von 91% bei einer Spezifität von 97% [35]. Die Beurteilbarkeit der distalen Anastomosen zeigte eine Abhängigkeit von der gewählten Aufnahmesequenz [61]. Zwar können MRT-Aufnahmen – wie beim Cardio-CT –

in Atemanhaltetechnik gemacht werden, die Schichtdicke ist aber beim MRT mit ca. 5 mm deutlich schlechter als beim Cardio-CT mit 1,3 mm beim 4-Zeiler und ca. 0,8 mm beim 16-Zeiler [24, 59, 61]. Obwohl die Schichtdicke beim MRT durch längere Aufnahmezeiten von 6 mm auf 3 mm verringert werden kann, lässt sich dies nicht an einer verbesserten Bildqualität erkennen [41]. Mit der Navigatortechnik fand sich an 38 Patienten eine Sensitivität von 65% bis 82% bei einer Spezifität von 82% bis 88% für die Erkennung von $\geq 50\%$ igen Stenosen in Bypassgefäßen [30].

Zusätzlich zur reinen Bildgebung können mit der MRT auch Flussmessungen zur Beurteilung der Offenheit und einer Stenosierung in den Bypassgefäßen durchgeführt werden [16, 26, 34, 52]. Ob diese aufwendige Technik die Aussagekraft erhöht, ist bei einer Sensitivität von 78% und einer Spezifität von 80% bislang fraglich [8]. In einer anderen Arbeit half der Einsatz der Flussmessung nicht, durchgängige von verschlossenen Bypassgefäßen zu unterscheiden [11]. Gleiches gilt auch für die Flussmessung in Bypassgefäßen mit dem Cardio-CT [32, 54].

Indikationen zur nichtinvasiven Bypassangiographie
Zunächst muss betont werden, dass Patienten mit (wieder aufgetretener) typischer Angina pectoris und/oder eindeutigem Ischämienachweis mittels Belastungs-EKG, Stressechokardiographie oder Myokardszintigraphie [17, 36, 49] primär einer Linksherzkatheteruntersuchung zugeführt werden sollten, da auch bei offenen Bypassgefäßen Stenosen der distalen Anastomosen und/oder eine Progression der Nativgefäße vorliegen könnten.

Die nichtinvasive Bypassangiographie mit dem Cardio-CT dient vor allem beschwerdefreien Patienten ohne Ischämienachweis („Bypass-TÜV“). Hierbei stellt sich die Frage, weshalb ein beschwerdefreier Patient seine Bypassgefäße überprüfen lassen sollte. Der Verschluss eines Bypasses vollzieht sich oft asymptomatisch: Durch eine z.T. schon vor der Operation erfolgte Kollateralisierung ist auch bei Verschluss eines einzelnen Bypasses eine adäquate Myokardperfusion gewährleistet, so dass z.B. die Sensitivität des szintigraphischen Ischämienachweises deutlich unter 100% (bis 64%) beträgt [29]. Erst wenn mehrere Bypassgefäße verschlossen sind, kann plötzlich ein größeres Versorgungsgebiet betroffen sein. Somit wäre es sinnvoll – bei asymptomatischem Verschluss eines einzelnen Bypasses – aus prophylaktischen und prognostischen Gründen die Möglichkeit einer eventuellen Intervention am

zuvor bypassversorgten Nativgefäß oder am Bypassgefäß selbst zu überlegen. Die Koronarinterventionen an den Nativgefäßen sind in diesem Stadium mit einem nicht so hohen Risiko behaftet und bieten prognostische Vorteile, wenn sich in den nächsten Jahren weitere Bypassgefäße verschließen sollten.

Ein weiteres Anwendungsgebiet für das Cardio-CT liegt in der Planung minimalinvasiver Bypassoperationen, um bei möglichst kleinen Thorakotomien die „alten“ Bypassgefäße zu verschonen [39].

Schlussfolgerung

Die ultraschnelle MSCT ist eine zukunftsweisende Alternative zur invasiven Bypass- und Koronarangiographie [1, 5, 37, 46, 60]. Während die Darstellung der Nativgefäße noch einigen Einschränkungen unterliegt, ist die Bypassangiographie mit dem Cardio-CT schon heute eine zuverlässige, hoch sensitive und vor allem patientenfreundliche Methode. Für die kardiologische Praxis ergibt sich eine neue zusätzliche diagnostische Möglichkeit, Patienten nach einer Bypassoperation ohne invasive Diagnostik in regelmäßigen Abständen zu überwachen, um rechtzeitig asymptotische Bypassverschlüsse zu erkennen. Immerhin hatte im Mittel 5 Jahre postoperativ fast jeder dritte Patient einen unerwarteten Bypassverschluss.

Wesentliche Teile dieser Arbeit entstanden im Rahmen der Dissertation von Herrn Stefan Finsterer an der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, München (in Vorbereitung).

Literatur

1. Achenbach S, Daniel WG. Noninvasive coronary angiography – an acceptable alternative? *N Engl J Med* 2001;345:1909–10.
2. Achenbach S, Giesler T, Ropers D, Ulzheimer S, Derlien H, Schulte C, Wenkel E, Moshage W, Bautz W, Daniel WG, Kalender WA, Baum U. Detection of coronary artery stenoses by contrast-enhanced, retrospectively electrocardiographically-gated, multislice spiral computed tomography. *Circulation* 2001;103:2535–8.
3. Achenbach S, Moshage W, Ropers D, Nossen J, Bachmann K. Noninvasive, three-dimensional visualization of coronary artery bypass grafts by electron beam tomography. *Am J Cardiol* 1997;79:856–61.
4. Achenbach S, Ropers D, Regenfus M, Pohle K, Giesler T, Moshage W, Daniel WG. Noninvasive coronary angiography by magnetic resonance imaging, electron-beam computed tomography, and multislice computed tomography. *Am J Cardiol* 2001;88:70E–3E.
5. Achenbach S, Ulzheimer S, Baum U, Kachelrieß M, Ropers D, Giesler T, Bautz W, Daniel WG, Kalender WA, Moshage W. Noninvasive coronary angiography by retrospectively ECG-gated multislice spiral CT. *Circulation* 2000;102:2823–8.
6. BARI Investigators. Comparison of coronary bypass surgery with angioplasty in patients with multivessel disease. *N Engl J Med* 1996;335:217–25.

7. BARI Investigators. Seven-year outcome in the Bypass Angioplasty Revascularization Investigation (BARI) by treatment and diabetic status. *J Am Coll Cardiol* 2000;35:1122–9.
8. Bedaux WLF, Hofman MBM, Vyt SLA, Bronzwaer JGF, Visser CA, van Rossum AC. Assessment of coronary artery bypass graft disease using cardiovascular magnetic resonance determination of flow reserve. *J Am Coll Cardiol* 2002;40:1848–55.
9. Berger PB, Alderman EL, Nadel A, Schaff HV. Frequency of early occlusion and stenosis in a left internal mammary artery to left anterior descending artery bypass graft after surgery through a median sternotomy on conventional bypass. *Circulation* 1999;100:2353–8.
10. Boehm DH, Wintersperger BJ, Reichensperner H, Gulbins H, Detter C, Kur F, Meiser B, Reichart B. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography for control of minimally invasive coronary bypass conduits (MIDCAB/OPCAB). *Heart Surg Forum* 1999;2:222–5.
11. Brenner P, Wintersperger B, Smekal A von, Agirov V, Bohm D, Kreuzer E, Reiser M, Reichart B. Detection of coronary artery bypass graft patency by contrast enhanced magnetic resonance angiography. *Eur J Cardiothorac Surg* 1999;15:389–93.
12. Bruckenberger E. Herzbericht 2001: 14. Bericht der Arbeitsgruppe Krankenhauswesen der Arbeitsgemeinschaft der obersten Landesgesundheitsbehörden der Länder (AOLG). Hannover: AOLG, 2002.
13. Carrascosa PM, Capuñay CM, Parodi JC, Padilla LT, Johnson P, Carrascosa JM, Chandra S, Smith D, Belardi J. General utilities of multislice tomography in the cardiac field. *Herz* 2003;28:44–51.
14. Cole JH, Miller, JI, Sperling LS, Weintraub WS. Long-term follow-up of coronary artery disease presenting in young adults. *J Am Coll Cardiol* 2003;41:521–8.
15. Dai R, Zhang S, Lu B, Cao C, He S, Bai H, Jing B. Three-dimensional reconstructions of electron beam computed tomography angiography for evaluating coronary artery bypass grafts. *Chin Med J* 1998;111:588–92.
16. Dianas PG, Manning WJ. Coronary MR angiography: current status. *Herz* 2000;25:431–9.
17. Desideri A, Candelpergher G, Zanco P, Suzzi G, Terlizzi R, Borsato N, Colangeli G, Daskalakis C, Chierichetti F, Celegon L. Exercise technetium 99m sestamibi single-photon emission computed tomography late after coronary artery bypass surgery: long-term follow-up. *Clin Cardiol* 1997;20:779–84.
18. Dirksen MS, Bax JJ, de Roos A, Jukema JW, van der Geest RJ, Geleijns K, Boersma E, van der Wall EE, Lamb HJ. Usefulness of dynamic multislice computed tomography of left ventricular function in unstable angina pectoris and comparison with echocardiography. *Am J Cardiol* 2002;90:1157–60.
19. Engelmann MG, Knez A, Smekal A von, Wintersperger BJ, Huehns TY, Höfling B, Reiser MF, Steinbeck G. Non-invasive coronary bypass graft imaging after multivessel revascularization. *Int J Cardiol* 2000;76:65–74.
20. Enzweiler CNH, Kivelitz DE, Wiese TH, Taupitz M, Höhn S, Borges AC, Pietsch L, Dohmen P, Baumann G, Hamm B. Coronary artery bypass grafts: improved electron-beam tomography by prolonging breath holds with preoxygenation. *Radiology* 2000;217:278–83.
21. Fischer J, Trittin J, Müller, Riestler W, Bodewig K. Verordnung für die Umsetzung von EURATOM-Richtlinien zum Strahlenschutz. *Bundesgesetzblatt* 2001;38:§ 55/4, 1741.
22. Goldman S, Zadina K, Krasnicka B, Moritz T, Sethi G, Copeland J, Ovitt T, Henderson W. Predictors of graft patency 3 years after coronary artery bypass graft surgery. *J Am Coll Cardiol* 1997;29:1563–8.
23. Ha JW, Cho SY, Shim WH, Chung N, Jang Y, Lee HM, Choe KO, Chung WJ, Choi SH, Yoo KJ, Kang MS. Noninvasive evaluation of coronary artery bypass graft patency using three-dimensional angiography obtained with contrast-enhanced electron beam CT. *AJR Am J Roentgenol* 1999;172:1055–9.
24. Halliburton SS, Stillman AE, Flohr T, Ohnesorge B, Obuchowski N, Lieber M, Karim W, Kuzmiak SA, Kasper JM, White RD. Do segmented reconstruction algorithms for cardiac multi-slice computed tomography improve image quality? *Herz* 2003;28:20–31.
25. Hoshi T, Yamauchi T, Kanauchi T, Konno M, Imai K, Suwa J, Onoguchi K, Hashimoto K, Horie T. Three-dimensional computed tomography angiography of coronary artery bypass graft with electron beam tomography. *J Cardiol* 2001;38:197–202.
26. Ishida N, Sakuma H, Cruz BP, Shimono T, Tokui T, Yada I, Takeda K, Higgins CB. MR flow measurement in the internal mammary artery-to-coronary artery bypass graft: comparison with graft stenosis at radiographic angiography. *Radiology* 2001;220:441–7.
27. Jara FM, Kalush J, Kahn ML. Electron beam coronary angiography to assess patency in the off-pump coronary bypass graft. *Ann Thorac Surg* 2002;74:1395–7.
28. King SB, Kosinski AS, Guyton RA, Lembo NJ, Weintraub WS. Eight-year mortality in the Emory Angioplasty Versus Surgery Trial (EAST). *J Am Coll Cardiol* 2000;35:1116–21.
29. Knez A, Haberl R, Becker C, Becker A, Engelmann M, Brüning R, Reiser M, Steinbeck G. Stellenwert der Elektronenstrahltomographie in der Beurteilung der Durchgängigkeit aortokoronarer Bypässe. *Radiologe* 1998;38:1012–20.
30. Langerak SE, Vliegen HW, de Roos A, Zwinderman AH, Jukema JW, Kunz P, Lamb HJ, van der Wall EE. Detection of vein graft disease using high-resolution magnetic resonance angiography. *Circulation* 2002;105:328–33.
31. Lochow P, Silber S. Lebensbedrohliche Komplikationen nach Herzkatheter. *MMW Fortschr Med* 2003;145:40–2.
32. Lu B, Dai RP, Zhuang N, Budoff MJ. Noninvasive assessment of coronary artery bypass graft patency and flow characteristics by electron-beam tomography. *J Invasive Cardiol* 2002;14:19–24.
33. McCollough C. Patient dose in cardiac computed tomography. *Herz* 2003;28:1–6.
34. Miller S, Scheule AM, Hahn U, Jurmann M, Helber U, Duda SH, Stauder NI, Claussen CD. MR angiography and flow quantification of the internal mammary artery graft after minimally invasive direct coronary artery bypass. *AJR Am J Roentgenol* 1999;172:1365–9.
35. Molinari G, Sardanelli F, Zandrino F, Balbi M, Masperone MA. Value of navigator echo magnetic resonance angiography in detecting occlusion/patency of arterial and venous, single and sequential coronary bypass grafts. *Int J Card Imaging* 2000;16:149–60.
36. Nallamothu N, Johnson JH, Bagheri B, Heo J, Iskandrian AE. Utility of stress single-photon emission computed tomography (SPECT) perfusion imaging in predicting outcome after coronary artery bypass grafting. *Am J Cardiol* 1997;80:1517–21.
37. Nieman K, Oudkerk M, Rensing BJ, van Ooijen P, Munne A, van Geuns RJ, de Feyter PJ. Coronary angiography with multi-slice computed tomography. *Lancet* 2001;357:599–603.
38. Nieman K, Rensing BJ, van Geuns RJM, Munne A, Ligthart JM, Pattynama PMT, Krestin GP, Serruys PW, de Feyter PJ. Usefulness of multislice computed tomography for detecting obstructive coronary artery disease. *Am J Cardiol* 2002;89:913–8.
39. Ohtsuka T, Akahane M, Ohtomo K, Kotsuka Y, Takamoto S. Three-dimensional computed tomography for reoperative minimally invasive coronary artery bypass. *Ann Thorac Surg* 2000;70:1734–5.
40. Pasowicz M, Klimeczek P, Przewlocki T, Konieczynska M, Krochin M, Kozanecki A, Sadowski J, Zmudka K, Podolec P, Tracz W. Assessment of the patency of coronary artery bypass grafts using

- multi-slice spiral computed tomography: initial experience. *Acta Cardiol* 2002;57:64–5.
41. Regenfus M, Ropers D, Achenbach S, Schlundt C, Kessler W, Laub G, Moshage W, Daniel WG. Comparison of contrast-enhanced breath-hold and free-breathing respiratory-gated imaging in three-dimensional magnetic resonance coronary angiography. *Am J Cardiol* 2002;90:725–30.
 42. Ropers D, Baum U, Pohle K, Anders K, Ulzheimer S, Ohnesorge B, Schlundt C, Bautz W, Daniel WG, Achenbach S. Detection of coronary artery stenoses with thin-slice multi-detector row spiral computed tomography and multiplanar reconstruction. *Circulation* 2003;107:664–6.
 43. Ropers D, Ulzheimer S, Wenkel E, Baum U, Giesler T, Derlien H, Moshage W, Bautz WA, Daniel WG, Kalender WA, Achenbach S. Investigation of aortocoronary artery bypass grafts by multislice spiral computed tomography with electrocardiographic-gated image reconstruction. *Am J Cardiol* 2001;88:792–5.
 44. Schwartz L, Kip KE, Frye RI, Alderman EL, Schaff HV, Detre KM. Coronary bypass graft patency in patients with diabetes in the Bypass Angioplasty Revascularization Investigation (BARI). *Circulation* 2002;106:2652–8.
 45. Serruys PW, Unger F, Sousa E, Jatene A, Bonnier HJRM, Schönberger JPAM, Buller N, Bonser R, van den Brand MJB, van Herwerden LA, Morel MAM, van Hout BA, for the Arterial Revascularization Therapies Study Group. Comparison of coronary-artery bypass surgery and stenting for the treatment of multivessel disease. *N Engl J Med* 2001;344:1117–24.
 46. Silber S. Agatston Score und nichtinvasive Koronarangiographie: Ersatz für den Herzkatheter? *MMW Fortschr Med* 2001;16:25–6.
 47. Silber S, Albrecht A, Göhring S, Kaltenbach M, Kneissl D, Kokott N, Levenson B, Mathey D, Pöhler E, Reifart N, Sauer G, Schofer J, Schwarzbach F. Erster Jahresbericht niedergelassener Invasivkardiologen in Deutschland – Ergebnisse für diagnostische Linksherzkatheteruntersuchungen und Koronarinterventionen 1996. *Herz* 1998;23:47–57.
 48. Silber S, Levenson B, Schröder R, Kaltenbach M. Zweiter und dritter Jahresbericht des BNK zur Qualitätssicherung in der Invasivkardiologie. *Herz* 2000;25:143–50.
 49. Silber S, Schwaiger M, Klein U, Rudolph W. Tomographische und planare Myokardszintigraphie mit 201Thallium zur Beurteilung der Ergebnisse koronarchirurgischer Revaskularisationsmaßnahmen. In: Hör G, Felix R, Hrsg. *Kardiovaskuläre Nuklearmedizin*. Konstanz: Schnetztor, 1981:99–109.
 50. Smekal A von, Knez A, Seelos KC, Haberl R, Spiegl F, Reichart B, Steinbeck G, Reiser M. Vergleich von ultraschneller Computertomographie, Magnetresonanztomographie und selektiver Angiographie zum Nachweis der Durchgängigkeit koronarer Bypässe. *Röfo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 1997;166:185–91.
 51. Smekal A von, Lachat M, Wildermuth S, Khan G, Turina M, Marincek B. Proximale Anastomosen aortokoronarer Bypässe – Beurteilung mittels EKG-getriggter Einzeilencomputertomographie. *Radiologe* 2000;40:130–5.
 52. Stauder NI, Miller S, Scheule AM, Brechtel K, Eckstein FS, Hahn U, Kramer U, Duda SH, Claussen CD. 2D-phase contrast flow evaluation and contrast-enhanced MR angiography for perioperative assessment of internal mammary artery grafts. *Röfo Fortschr Geb Röntgenstr Neuen Bildgeb Verfahr* 2001;173:790–7.
 53. Tan ES, van der Meer J, de Kam PJ, Dunselman PHJM, Mulder BJM, Ascoop CAPL, Pfisterer M, Lie KI, for the CABADAS Research Group. Worse clinical outcome but similar graft patency in women versus men one year after coronary artery bypass graft surgery owing to an excess of exposed risk factors in women. *J Am Coll Cardiol* 1999;34:1760–8.
 54. Tello R, Hartnell GG, Costello P, Ecker CP. Coronary artery bypass graft flow: qualitative evaluation with cine single-detector row CT and comparison with findings at angiography. *Radiology* 2002;224:913–8.
 55. Ueyama K, Ohashi H, Tsutsumi Y, Kawai T, Ueda T, Ohnaka M. Evaluation of coronary artery bypass grafts using helical scan computed tomography. *Cathet Cardiovasc Intervent* 1999;46:322–6.
 56. Van Ooijen PMA, Nieman K, de Feyter PJ, Oudkerk M. Noninvasive coronary angiography using electron beam computed tomography and multidetector computed tomography. *Am J Cardiol* 2002;90:998–1002.
 57. Vetter HO, Driever R, Mertens H, Kempkes U, Cramer BM. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography of mammary artery grafts after minimally invasive coronary bypass surgery. *Ann Thorac Surg* 2001;71:1229–32.
 58. Vogl TJ, Abolmaali ND, Diebold T, Engelmann K, Ay M, Dogan S, Wimmer-Greinecker G, Moritz A, Herzog C. Techniques for the detection of coronary atherosclerosis: multi-detector row CT coronary angiography. *Radiology* 2002;223:212–20.
 59. Voigtländer T, Kreitner KF, Wittlinger T, Petersen S, Horstic G, Kalden P, Meyer J. MR-Angiographie und Flussmessung in Koronararterien und koronaren Bypassgefäßen. *Z Kardiol* 2001;90:929–38.
 60. Willmann JK, Sente-Varga M, Roos JE, Hilfiker PR, Weishaupt D. Three-dimensional images of extra-anatomic arterial bypass graft using multidetector row spiral computed tomography data with volume rendering. *Circulation* 2001;104:e154–5.
 61. Wittlinger T, Voigtländer T, Grauvogel K, Meyer J, Kreitner KF, Kalden P, Thelen M. Kernspintomographische Darstellung koronarer Bypassgefäße – Vergleich der Haste- und Fisp-3-D-Angiographiesequenz mit der konventionellen Koronarangiographie. *Z Kardiol* 2000;89:7–14.

Korrespondenzanschrift

Prof. Dr. Sigmund Silber
 Kardiologische Gemeinschaftspraxis
 80331 München
 Tal 21
 Telefon (+49/89) 742151-30, Fax -31
 E-Mail: ssliber@med.de
 und
 Herzdiagnostikzentrum
 Tal 34
 80331 München
 Deutschland
 Telefon (+49/89) 242067-0, Fax -77
 Internet: www.herzdiagnostik.com