

Aus der Kardiologischen Gemeinschaftspraxis in der Klinik Dr. Müller
(akademische Lehrpraxis der Ludwig-Maximilians-Universität München)

Nichtinvasive Bypass-Angiographie mit dem Cardio-CT zur Erkennung eines Bypassverschlusses bei Patienten ohne Angina pectoris

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität
München

vorgelegt von
Stefan Finsterer
aus Ingolstadt

2005

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Sigmund Silber

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. P. Boekstegers
Priv. Doz. Dr. med. V. Klauss

Dekan: Prof. Dr. med. Dietrich Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 01.12.2005

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	7
2. Methodik.....	8
2.1 Computertomographie	9
2.1.1 Bildverarbeitung und Darstellung.....	10
2.1.1.1. Zweidimensionale Verfahren.....	11
2.1.1.1.1. MRP	11
2.1.1.1.2. MIP	11
2.1.1.2. Dreidimensionale Verfahren.....	11
2.1.1.2.1. SSD	11
2.1.1.2.2. VRT.....	12
2.2. Prospektive und retrospektive EKG Triggerung.....	12
2.3. Patientenvorbereitung.....	13
2.4. Medikamente	16
2.5. Untersuchungsvorgang.....	17
2.6. Bildrekonstruktion.....	19
2.7. Patienten und Indikationsstellung	20
2.8. Nachbeobachtung der untersuchten Patienten	23
3. Fallbeispiele.....	24
4. Ergebnisse.....	31
4.1. Patientendaten.....	31
4.1.1. Kardiovaskuläre Risikofaktoren	32
4.1.2. Medikamentöse Vorbehandlung.....	32
4.2. Gesamtergebnisse für die Bypassgefäße	32
4.3. Versorgungsgebiete der Bypassgefäße	35

4.3.1. LAD- Versorgungsgebiet	35
4.3.2. RCX- Versorgungsgebiet.....	36
4.3.3. RCA- Versorgungsgebiet.....	36
4.4. Offenheit der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Operationszeitpunkt.....	37
4.4.1. Venöse Bypassgefäße	39
4.4.2. Arterielle Bypassgefäße	40
4.4.2.1. LIMA Bypassgefäße.....	41
4.4.2.2. RIMA Bypassgefäße	41
4.4.2.3. Arteria radialis Bypassgefäße	41
4.5. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Patientenalter	42
4.6. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Bestehen eines Diabetes mellitus.....	44
4.7. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit weiterer kardiovaskulärer Risikofaktoren	45
4.8. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit der medikamentösen Vorbehandlung.....	46
4.9. Analyse der Patienten mit verschlossenen Bypassgefäßen.....	46
4.10. Invasive Kontrollangiographie	49
4.11. Nachbeobachtung:.....	52
5. Diskussion	54
5.1. Entwicklung und Grundlagen der Computertomographie.....	54
5.2. Entwicklung der Koronarangiographie	57
5.2.1 Entwicklung der interventionellen Koronarangioplastie (PTCA, PCI)...	59
5.2.2. Mögliche Komplikationen der invasiven Koronarangiographie	60
5.3. Entwicklung der koronaren Bypasschirurgie	61
5.3.1. Degenerative Veränderungen in Bypassgefäßen	61

5.3.2. Reoperation	62
5.3.3. Offenheit von Bypassgefäßen im Allgemeinen	63
5.4. Vorliegende Ergebnisse hinsichtlich der Offenheitsrate der untersuchten Bypassgefäße	67
5.4.1. Einfluss kardiovaskulärer Risikofaktoren	69
5.4.2. Einfluss der Medikation	70
5.4.3. Einfluss des Patientenalters	70
5.4.4. Einfluss des Zeitintervalls nach der Bypassoperation.....	71
5.4.5. Diskussion der Analyse der gegentrendläufigen Ergebnisse der Patienten, die 13 – 16 Jahre postoperativ untersucht wurden.....	72
5.4.6. Prädiktoren einer Bypassoffenheit.....	72
5.5. Invasiv untersuchte Kontrollgruppe	74
5.6. Wer profitiert von einer Bypass-CTA Untersuchung und welche Konsequenzen hat ein diagnostizierter Bypassverschluss?.....	78
5.7. Limitationen der vorliegenden Arbeit.....	79
5.8. Effektive Strahlenexposition.....	80
5.9. Kernspintomographie – eine alternative Methode zur CTA ?.....	83
6. Zusammenfassung	85
7. Literaturverzeichnis	86
8. Danksagung	97
9. Lebenslauf	98

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Venen Bypassgefäße auf LAD und RCX; LAO Projektion	24
Abbildung 2: Venenbypass auf LAD und RCX; p.a. Projektion.....	24
Abbildung 3: MPR Darstellung; Venenbypass auf RCX	25
Abbildung 4: MPR Darstellung; Venenbypass auf LAD	25
Abbildung 5: links oben: ACVB zu LAD und R.marginalis, LIMA zu R.diagonalis.....	26
Abbildung 6: rechts oben: gleicher Patient wie Abb 5, Bypassverschluss zu RCA...	26
Abbildung 7: links unten:: ACVB zu LAD (MPR).....	26
Abbildung 8: AVCB zu LAD und RCX.....	27
Abbildung 9: ACVB zu LAD und RCX (2)	27
Abbildung 10: LIMA zu LAD.....	28
Abbildung 11: LIMA zu LAD (MPR)	28
Abbildung 12: ACVB zu LAD, verdeckt durch Sternum	29
Abbildung 13: wie Abb. 12, „Slab“ durch Sternum	29
Abbildung 14: Gesamtergebnis der CTA Untersuchung.....	33
Abbildung 15: prozentuale Aufteilung der Gefäße nach ihrem Offenheitszustand....	35
Abbildung 16: Versorgungsgebiete der Bypassgefäße.....	36
Abbildung 17: Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf.....	37
Abbildung 18: Prozentualer Graftanteil im zeitlichen Verlauf	38
Abbildung 19: prozentuale Darstellung der Bypassergebnisse im zeitlichen Verlauf	39
Abbildung 20: prozentuale Darstellung der Ergebnisse venöser Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf	40
Abbildung 21: prozentuale Darstellung der Ergebnisse arterieller Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf	41
Abbildung 22: Ergebnisse der 41 – 59 jährigen Patienten.....	42
Abbildung 23: Ergebnisse der über 60 jährigen Patienten.....	43

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Checkliste zur Untersuchungsvorbereitung	16
Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien für die nicht-invasive Bypass CTA	22
Tabelle 3: Gesamtergebnis der CTA Untersuchung	33
Tabelle 4: Prozentuale Ergebnisse der CTA Untersuchung	34
Tabelle 5: Bypassgefäße anhand der entsprechenden Versorgungsgebiete	36
Tabelle 6: Ergebnisse über die Offenheit der Bypassgefäße analog des zeitlichen Verlaufs	38
Tabelle 7: nachgewiesene Offenheit der Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf.....	38
Tabelle 8: Bypassgefäße der 41-59- jährigen Patienten.....	43
Tabelle 9: Bypassgefäße der über 60- jährigen Patienten.....	44
Tabelle 10: Offenheit in Abhängigkeit kardiovaskulärer Risikofaktoren	46
Tabelle 11: Offenheit in Abhängigkeit der medikamentösen Vorbehandlung	46
Tabelle 12: CTA- Ergebnisse der invasiv kontrollierten Patienten	49
Tabelle 13: LHK Ergebnisse der invasiv kontrollierten Patienten	50
Tabelle 14: Vier- Feldertafel aller invasiv angiographierten Bypassgefäße	51
Tabelle 15: Vier- Feldertafel der invasiv angiographierten venösen Bypassgefäße .	52
Tabelle 16: Vier- Feldertafel der invasiv angiographierten arteriellen Bypassgefäße	52
Tabelle 17: Vergleich unserer Ergebnisse für die Offenheitsraten mit der Literatur..	69
Tabelle 18: Literaturangaben zu Sensitivität und Spezifität für die Erkennung von Bypassverschlüssen mit nicht-invasiven Methoden	77
Tabelle 19: nach Hunold et al: Strahlenexposition der CTA	82
Tabelle 20: Vergleich Strahlenexposition CTA - Herzkatheter.....	83

Erklärung der Abkürzungen:

ACVB	: Aortocoronarer Venen Bypass
ASS	: Acetylsalicylsäure
CABG	: Coronary Artery Bypass Grafting
CTA	: Computertomographie Angiographie
EBT	: Electron Beam Tomography
LAD	: Left Anterior Descendent
LHK	: Linksherzkatheter
LIMA	: Left Internal Mammaria Artery
MIP	: Maximum Intensitätsprojektionen
MPR	: Multiplanare Rekonstruktionsprojektionen
MSCT	: Mehrschicht- (Multislice-) Computertomogramm
MRCT	: Multi Row Computertomogramm
MRT	: Magnet Resonanz Tomogramm
NV	: Negativer Vorhersagewert
PCI	: Perkutane Coronar- Intervention
PTCA	: Perkutane Transluminare Coronare Angioplastie
PV	: Positiver Vorhersagewert
RCA	: Right Coronary Artery
RCX	: Ramus Circumflexus
RIMA	: Right Internal Mammaria Artery
SSD	: shaded surface display
UCT	: Ultraschnelle Computertomographie
VRT	: Volumen Rendering- Technik

1. Einleitung

Auch im Zeitalter der Angioplastie (PTCA, PCI), die sich seit ihrer Einführung 1977 durch Andreas GRÜNTZIG⁵⁷ in Zürich rasch etablierte, stellt die koronare Bypassoperation unverändert eine tragende Säule in der Behandlung der koronaren Herzerkrankung dar. Allerdings sind nach 10 Jahren nur noch 60 % der Venenbypassgefäße offen⁶⁸ und nur noch 40% der offenen Bypassgefäße frei von hämodynamisch relevanten Stenosen. Lediglich 20% der venösen Bypassgefäße zeigen nach 20 Jahren noch eine einwandfreie Durchgängigkeit.^{20,29,44,68,92} Wie die Erfahrung zeigt, haben Patienten mit einem Bypassverschluss oft keine Angina pectoris.

Zum Nachweis der Offenheit bzw. des Verschlusses eines Bypassgefäßes war bis vor kurzem die Katheteruntersuchung die einzige zuverlässige Methode. Aufgrund der stetigen Zunahme der Patienten mit koronaren Bypassgefäßen und der Möglichkeit eines Bypassverschlusses ist man zunehmend auf der Suche nach einer nicht-invasiven Methode zur Kontrolle der Bypassgefäße, insbesondere, wenn keine Angina pectoris vorliegt.

Eine solche Alternative bietet seit Ende der 90er Jahre die kontrastmittelgestützte ultraschnelle Computertomographie mittels Mehrschicht Aufnahmetechnik (MSCT). Die folgende Arbeit beschreibt unsere Erfahrungen mit dem MSCT in der kardiologischen Praxis mit der Fragestellung, ob diese neue Methode aussagekräftige und praxisrelevante Informationen liefert und dazu beitragen kann, rechtzeitig Patienten mit verschlossenen Bypassgefäßen zu erkennen, noch bevor Angina pectoris auftritt. Ob dies die Mehrschicht Computertomographie leisten kann, war Ziel der folgenden Untersuchung.

2. Methodik

Zwischen September 2001 und März 2003 wurden Bypasspatienten der kardiologischen Gemeinschaftspraxis Dr. Bödiger, Dr. Mühling, Prof. Silber in München untersucht, die bezüglich einer Angina pectoris Symptomatik asymptomatisch waren. Folgende Fragestellungen sollen beantwortet werden:

a) steht zur Beurteilung der Offenheit von Bypassgefäßen mit der Mehrschicht-Computertomographie in der kardiologischen Praxis ein sicheres, alternatives, nicht-invasives Verfahren zur Verfügung? Klärung diesbezüglich soll die Aufarbeitung der ermittelten Ergebnisse bringen.

b) wie ist der Vergleich mit der als Goldstandard angesehenen invasiven Linksherz-katheteruntersuchung? Da die Patienten bezüglich einer Angina pectoris Symptomatik asymptomatisch und ohne Hinweise auf Myokardischämie waren, wurden meist nur diejenigen Patienten invasiv nachuntersucht, deren Bypassgefäße in der CT Angiographie als verschlossen oder stenosiert befundet wurden.

Die Ergebnisse sollen mit bereits veröffentlichten Arbeiten zur nicht invasiven Bypassdarstellung verglichen werden. Die erhobenen Verschlussraten der Bypassgefäße sollen mit einschlägigen Literaturaussagen korreliert werden.

In einem Follow-up werden neu aufgetretene Angina pectoris Symptomatik, erneute Katheterintervention, erneuter Myokardinfarkt, Wohlbefinden oder Krankenhausaufenthalte aufgrund kardialer Beschwerden erfragt

2.1 Computertomographie

Im Herzdiagnostikzentrum München (HDZ) wurden die Bypasspatienten mit dem Multislice Computertomographen Philips MX 8000 Quad untersucht. In der axialen Ebene wird das zu untersuchende Volumen in cranio-caudaler Richtung abgefahren. Im Spiralmodus tasten 4 Schichten gleichzeitig das zu untersuchende Volumen ab. Durch die Kollimatorblende können unterschiedliche Detektorenschichtdicken, nämlich 1,0mm, 2,5mm, 5mm, 8mm und 10mm eingestellt werden. Im Beispiel der CTA Untersuchung sind es 4 x 1 mm kollimierte, „physikalische“ Schichtdicken. Im Spiralmodus ergibt sich eine effektive Schichtdicke von 1,3 mm bei einer Überlappung (Inkrement) von 0,6 mm. Die Rotationszeit der Röntgenröhre beträgt 500ms. Um die zeitliche Auflösung in Anbetracht der Verringerung der Bewegungsartefakte zu erhöhen, ermöglichen es EKG-gesteuerte Rekonstruktionsalgorithmen nur Daten während eines halben Röhrenumlaufs zur Bildberechnung zu verwenden, sodass eine Zeitauflösung von etwa 250 ms erreicht wird.^{6,19} Die Röhrenspannung beträgt 120 kV bei 150 mA bzw. 300 mAs bei der Rotationszeit von 500ms. Das Detektorensystem enthält 8 parallele, asymmetrische Detektorenreihen mit insgesamt 5.376 Elementen, die je nach Schichtdicke elektronisch zusammengefasst werden können. Der Tischvorschub, mit dem der Patient durch den Fächerstrahl gefahren wird, wird als sogenannter „Pitch“ eingestellt. Die Tischgeschwindigkeit ist entscheidend verantwortlich für eine gute Bildqualität. Wird sie zu schnell gewählt, kann keine lückenlose Abtastung des gewünschten Volumens erfolgen, da sich die einzelnen Schichten nicht mehr überlappen. Bei zu niedriger Geschwindigkeit wird die Untersuchungszeit für das entsprechende Volumen verlängert, was wiederum zu Problemen beim Atemanhalten führt. Zudem erhöht sich die Strahlenbelastung für den Patienten. Der Pitch (P) wird für die Mehrschicht Computertomographen mit Multidetektorsystemen definiert als das Verhältnis von Tischvorschub pro Rotation (TF) zum Produkt aus Kollimation (K) und Anzahl der Schichten (n) ($P=TF / K \times n$).⁵⁰ Der Pitch kann zwischen 0,25 und 2,0 eingestellt werden, für die CTA Untersuchung ist ein Pitch von 0,375 zugrundegelegt, der einem effektiven Tischvorschub von 3,6 mm/Sekunde entspricht. Im Falle der Bypass CTA beträgt die Untersuchungszeit somit bei einer Volumenausdehnung von etwa 140 mm circa 40 Sekunden.

Marconi Mx 8000 Quad: Aufnahmedaten für die CT-Angiographie⁶⁰

Scan Richtung:	craniocaudal
Rotationszeit:	500ms
Kollimation:	4x1mm
effektive Schichtdicke:	1,3mm
Schichtüberlappung: (Inkrement)	0,6mm
Röhrenspannung:	120 kV
Stromstärke	150mA
Scanzeit pro 4 Schichten (zeitl. Auflösung)	250-270ms
Tischvorschub:	3,6mm/s
Aufnahmemodus:	retrospektive EKG-Triggerung
Herzphasen:	0-100% RR
Matrix	512 x 512 Pixel

2.1.1 Bildverarbeitung und Darstellung

Die Datenauswertung erfolgt mit der systeminhärenten Software der Firma Marconi/Philips (Version Mx View 3,51). Für die Bilddarstellung stehen zweidimensionale (konventionelle axiale Schichtung, MPR, MIP) und dreidimensionale (SSD, VRT) Verfahren zur Verfügung.

2.1.1.1. Zweidimensionale Verfahren

2.1.1.1.1. MRP

Multiplanare Rekonstruktionsprojektionen (MPR) sind zwei-dimensionale Schnitte, ausgehend aus einem Stapel von axialen Bilddaten, die in beliebigen Richtungen (axial, koronar, sagittal oder schräg) gewählt werden können. Somit kann das zu untersuchende Volumen an beliebiger Stelle von verschiedenen Richtungen her dargestellt und der Verlauf durch entsprechende Durchschichtung verfolgt werden. Durch individuelle Datenverarbeitung lässt sich auch ein geschlängelter Verlauf einer Struktur, zum Beispiel ein Gefäßverlauf, mittels gekrümmt gewählter Darstellung (curved MPR) visualisieren.

2.1.1.1.2. MIP

Maximum Intensitätsprojektionen (MIP) sind Volumendarstellungsverfahren. Das abgetastete Volumen wird in eine Betrachtungsebene projiziert und dabei der maximale CT-Wert dargestellt. Somit werden kontrastreiche Strukturen gegenüber der Umgebung hervorgehoben. Möglich ist die Rekonstruktion eines ganzen Datensatzes oder eines ausgewählten Volumens. Durch die Analyse mehrerer Schichten erhält man trotz zwei-dimensionaler Darstellung eine gesteigerte Tiefeninformation.

Für die CTA sind MPR und speziell MIP-Darstellungen besonders geeignet, da sie das „Innenleben“ der Gefäße darstellen, die Gefäße durch mehrere Schichten in beliebiger Richtung verfolgt werden können, eine Darstellung in zweiter Ebene ermöglicht wird und durch Rotation um verdächtiges Gebiet auch exzentrische Strukturen herausgearbeitet werden können. Die Möglichkeit der Darstellung von Anastomosen zwischen Bypass und Nativgefäß wird durch MPR-/MIP Darstellung erheblich verbessert.

2.1.1.2. Dreidimensionale Verfahren

2.1.1.2.1. SSD

Die dreidimensionale Oberflächendarstellung SSD (shaded surface display) erzeugt ein realitätsnahes dreidimensionales Bild des zu untersuchenden Volumens. Mittels

Segmentation kann je nach Objektkontrast das Objekt vom Hintergrund getrennt werden. So können diejenigen Voxel mit CT Werten unter oder über dem Schwellenwert einer definierten Hounsfield Einheit (HE) ausgeblendet werden. Eine virtuelle Schattierung hebt den dreidimensionalen Eindruck hervor.

2.1.1.2.2. VRT

Die Volumen-Rendering-Technik (VRT) ist ein komplexes Verfahren, das die Eigenschaften der Oberflächen- und Volumendarstellung vereint. Während die Oberflächendarstellung SSD durch einen scharf definierten Schwellenwert nur die Oberfläche eines Objektes widerspiegelt, wird bei der VRT der Schwellenwert nahe der Intervallgrenzen angepasst, wodurch semitransparente Bilder erzeugt werden.⁵⁰

2.2. Prospektive und retrospektive EKG Triggerung

Während des Untersuchungsvorganges wird permanent das Patienten-EKG digital dokumentiert. Für die Rekonstruktion stehen die prospektive und die retrospektive EKG Triggerung mit unterschiedlicher Zielsetzung zur Verfügung.

Die prospektive EKG Triggerung wird üblicherweise für die Messung der Koronarkalzifizierung verwendet. Im Voraus wird ein bestimmt definierter Zeitpunkt im Herzzyklus gewählt, zu dem der Computertomograph scannt. Da die Herzeigenbewegung zum Zeitpunkt der Diastole am geringsten ist, wird meist der Triggerpunkt bei 60% des RR Intervalls (60% des Zeitintervalls zwischen zwei folgenden R Zacken) gewählt. Wird im prospektive EKG Trigger Modus untersucht, kann der Datensatz nur die Bilder dieses Zeitpunktes rekonstruieren. Für die Bestimmung der Koronarkalzifizierung konnte gezeigt werden,¹⁰⁸ dass die prospektive EKG Triggerung in Verbindung mit einer Schichtdicke von 4 x 2,5mm zu keinem relevanten Informationsverlust führt. Es lässt sich so aber eine deutliche Reduktion der Strahlenbelastung erzielen.

Anders verhält es sich bei der CT Angiographie. Während bei der Kalkmessung vor allem die Herzeigenbewegung bedacht werden muss, ist bei der Koronangiographie zusätzlich die optimale Füllung der Koronarien zu berücksichtigen. Die

Füllung ist teilweise unterschiedlich für die linke und rechte Koronararterie, noch größere Abweichungen zeigen sich zwischen den nativen Koronararterien und den koronar-arteriellen Bypassgefäßen. Selbst hier gibt es noch Unterschiede zwischen venösen und arteriellen Bypassgefäßen.

Es ist hilfreich und wichtig, das Herz zu verschiedenen Zeitpunkten der Herzaktion beurteilen zu können. Dies ermöglicht die retrospektive EKG-Triggerung. Hierbei werden die gewünschten Volumina kontinuierlich im ununterbrochenen Spiralmodus untersucht und aufgezeichnet. Mit Hilfe der registrierten EKG-Aufzeichnung wird nachfolgend der gewünschte Zeitpunkt der Herzphase ausgewählt. Die zu einem bestimmten Triggerpunkt korrespondierenden Daten erlauben eine Rekonstruktion der entsprechenden Bildserie. Theoretisch kann jeder Zeitpunkt zwischen 0 und 100% des RR Intervalls angewählt werden. Da jedoch nach wie vor in erster Linie die Diastolenphase interessiert, werden meist die Datensätze zwischen 50% und 80% des RR Intervalls benutzt. Eine kürzlich erschienene Arbeit beschäftigte sich mit dem optimalen Rekonstruktionszeitpunkt zur Darstellung von Bypassverschlüssen.¹²³ So zeigte sich, dass die proximalen Bypassanschnitte vom Rekonstruktionszeitpunkt weitgehend unabhängig beurteilt werden können, die distalen Anschnitte werden meist bei einem Delay von 60-70% beurteilt.

2.3. Patientenvorbereitung

Im Vorfeld sollte zunächst abgeklärt werden, ob und welche Patienten für die Untersuchung geeignet sind.

Wichtig dabei ist, dass diese fähig sind, etwa 40 Sekunden lang die Luft anzuhalten. Asthmatiker, Patienten mit schwerer obstruktiver Lungenerkrankung und sehr gebrechliche Patienten scheiden in der Regel aus. Es ist zu empfehlen, zu Hause die mögliche Zeitdauer des Atemanhaltens in Ruhe zu messen und darüber vor der Untersuchung zu berichten, damit eventuell eine individuell angepasste Grundeinstellung der Untersuchung (Tischvorschub und Scanausdehnung) eingestellt werden kann. Die Erfahrung zeigt, dass die Patienten in der Großzahl der Fälle meist deutlich länger Luft anhalten können, als sie zuhause gemessen haben. Dies ist damit zu erklären, dass bis zur eigentlichen Untersuchung doch etwa 5-7 Minuten

vergehen, in denen die Patienten ruhig auf dem Patiententisch liegen. Diese Entspannungszeit wird zuhause meist nicht investiert. Eine akute respiratorische Erkrankung wäre ebenso ein Hinderungsgrund, da als Beispiel ein Hustenanfall keine einwandfreie Untersuchung gewähren kann. Aufgrund der maximal zulässigen Gewichtslast des Patiententisches sind übergewichtige Menschen über 200 kg ausgeschlossen.

Die Besorgung des originalen Operationsberichtes stellt für die Bypassdarstellung und Auswertung eine der wichtigsten Vorbereitungen dar. Aus eigener Erfahrung ist selbst in den Entlassungsberichten der herzchirurgischen Kliniken nicht immer die exakt durchgeführte Art der Revaskularisation aufgeführt. So wird zum Beispiel die Anlage venöser Bypassgefäße in den Diagnosepunkten als „ACVB auf Gefäß x und Gefäß y“ angegeben. Ob es sich hierbei um zwei Single Venen Bypassgefäße oder um ein sequentielles Bypassgefäß handelt, ist nicht ersichtlich. Ähnlich verhält es sich, wenn die Arteria mammaria aufgrund unzureichender Länge als freies Interponat oder als T-Graft verwendet wird. Hat sich einmal eine unkorrekte Bezeichnung festgesetzt, wird sie meist von Arztbrief zu Arztbrief weitergeführt.

Ein zweiter bedeutender Punkt, der aus dem OP Bericht ersichtlich wird, ist die Kenntnis des genauen Verlaufes der Bypassgefäße. Ist zum Beispiel ein Venenbypass durch den Sinus transversus - meist in das Versorgungsgebiet des RCX - angelegt, ist er nicht, wie gewohnt, schon in der Oberflächendarstellung der Aorta ascendens aufliegend zu erkennen. Vielmehr muss man mittels zweidimensionaler Rekonstruktionen wie MPR den Verlauf dorsal der Aorta ascendens bis zum gemeinsamen Austritt mit dem Hauptstamm verfolgen. Aus dem Operationsbericht ergeben sich außerdem wichtige Hinweise auf das Kaliber der Gefäße, die Art der Anastomosen oder die Höhe der angelegten Anastomosen. In der vorgestellten Erhebung konnten bis auf eine Ausnahme alle originalen Operationsberichte entweder von der herzchirurgischen Klinik, vom Hausarzt oder über den Patienten selbst besorgt werden. Lediglich von einem Patienten, der 1982 in Texas operiert wurde, waren trotz intensiver Bemühungen keine Originalunterlagen zu bekommen. In diesem Fall konnte der Patient selbst darüber Auskunft geben, dass er vier venöse Single Bypassgefäße erhalten hatte.

Empfehlenswert ist die Durchführung eines EKGs, um die Grundfrequenz und den Grundrhythmus des Patienten zu bestimmen. Sollte sich zum Beispiel Vorhofflimmern oder eine massive Extrasystolie zeigen, ist der Patient aufgrund der ungenauen Triggermöglichkeit für die Untersuchung eher ungeeignet.

Eine Medikamentenanamnese insbesondere mit der Fragestellung der Einnahme von Betablockern oder anderen bradykardisierenden Substanzen beziehungsweise deren Kontraindikationen, sollte unbedingt erhoben werden. Da zur Untersuchung eine Herzfrequenz möglichst unter 60/min angestrebt wird, sollte am Tage der Untersuchung, falls vertretbar, die morgendliche Dosierung eines eventuellen oralen Betablockers erhöht werden.

Wichtig ist die Eruiierung einer im Vorfeld aufgetretenen Kontrastmittelallergie. Von großem Nutzen ist in diesem Zusammenhang die Frage nach der Verträglichkeit der zumindest präoperativ durchgeführten Linksherzkatheteruntersuchung. Im positiven Falle sollte eine orale Prophylaxe mit einem Kortikoid sowie mit Antihistaminika im Sinne von H1- und H2-Rezeptorenblockern sieben Tage vor der Untersuchung begonnen werden. Die Prophylaxe kann bei bekannt leichterem Verlauf auch kurz vor der Untersuchung intravenös verabreicht werden. Die Kenntnis über die linksventrikuläre Funktion zum Beispiel mittels einer aktuellen Echokardiographie wäre wünschenswert, um bei schwer eingeschränkter linksventrikulärer Funktion einer drohenden Dekompensation durch die infundierte Kontrastmittel- und Kochsalzlösung entgegenwirken zu können. Zuletzt muss eine aktuelle Blutlaboruntersuchung veranlasst werden. Diese sollte zumindest die Bestimmung von Kreatinin, der Elektrolyte und der Schilddrüsenparameter beinhalten.

Schon zu diesem Zeitpunkt sollte über eventuelle Komplikationen (Kontrastmittelallergie, Induktion einer Hyperthyreose, Verschlechterung einer Niereninsuffizienz, paravasale Injektion, Medikamentengabe) aufgeklärt werden. Eine genaue Erklärung der Möglichkeiten der CT-Angiographie ist unerlässlich. Viele Patienten kommen mit der Vorstellung, dass sie die gleichen Informationen wie bei der konventionellen, invasiven Linksherzkatheteruntersuchung erhalten werden. Die Untersuchung sollte zudem nüchtern durchgeführt werden.

- Aufklärung: mögliche Komplikationen
Möglichkeiten der CTA
obligates Luftanhalten
Nüchternheit
- Besorgung: OP Bericht
- Durchführung: EKG
Blutlabor
eventuell Echokardiographie
- Anamnese: Medikamente
Kontrastmittelallergie
Körpergewicht
- Vorbereitung: Training des Atemanhaltens
ggf. erhöhte β -Blocker Dosis
ggf. KM Allergieprophylaxe

Tabelle 1: Checkliste zur Untersuchungsvorbereitung

2.4. Medikamente

Bestimmte intravenös zu verabreichende Medikamente sollten ausreichend zur Verfügung stehen: Zur Senkung der Herzfrequenz steht, falls erforderlich, Metoprolol 2,5 – 10 mg intravenös zur Verfügung. Zu Beginn der Untersuchungsreihe wurde verstärkt das sehr kurz wirkende Esmolol eingesetzt. Leider blieb der gewünschte Erfolg bei den meist ohnehin schon weitgehend normofrequenten Patienten aus. Zudem war die geforderte Bolus- und anschließende Perfusorgabe in der Praxis umständlich. Metoprolol gleich zu Beginn der Untersuchung unter EKG-Monitoring verabreicht, zeigt bis zum Beginn der eigentlichen CTA, also nach etwa 5-10 Minuten, einen guten Effekt. Bei Kontraindikationen gegen Betablocker kann auch, falls erforderlich, auf Verapamil zurückgegriffen werden.

Die Notfallmedikamente sollten anhand der zu erwartenden Komplikationen zusammengestellt werden. Als solche wären vordringlich zu nennen: Bradykardien, anaphylaktischer Schock, Hypotonien. Der Fall einer kardiopulmonalen Reanimation

durch Kammerflimmern oder Asystolie ist allenfalls selbstinduziert durch die verabreichten Medikamente zu erwarten, jedoch sollte eine entsprechende Notfallausrüstung (Intubationsausrüstung, Defibrillator, Ambubeutel, eventuell Beatmungsgerät) in unmittelbarer Nähe sein. Das im HDZ zusammengestellte medikamentöse Notfallset ist folgendermaßen bestückt: Atropin, Suprarenin, Orciprenalin, Natriumbikarbonat, Prednisolon, Clemastin, Cimetidin, Metoclopramid sowie entsprechende Verdünnungsmedien. Gleichzeitig zur Untersuchung sollte eine physiologische Kochsalzlösung (NaCl 0,9%) angehängt sein. Da ein nicht zu vernachlässigender Anteil der Patienten entsprechend dem Krankheitsbild der koronaren Herzerkrankung an Diabetes mellitus leidet, sollte aufgrund der geforderten Nüchternheit auch eine Glucoselösung verfügbar sein. Als Kontrastmittel wurde das hydrophile, nicht-ionische Xenetix® 350 eingesetzt, welches 350 mg/ml Jod beziehungsweise 76,78 g/dl Iobitridol enthält.

Die Venenverweilkanülen sollten als Durchmesser mindestens 17G (1,4mm) aufweisen, um den Kontrastmittelfluss von bis zu 4,0 ml/sec zu gewährleisten.

2.5. Untersuchungsvorgang

Zeitgleich mit dem Legen einer Venenverweilkanüle wird der Patient am EKG Monitoring angeschlossen. Sollte die Herzfrequenz noch deutlich über 70 Schläge pro Minute liegen, wird, falls keine Kontraindikationen gegeben sind, wie oben erwähnt, fraktioniert 2,5 mg – 10 mg Metoprolol intravenös verabreicht. Über einen Dreiwegehahn läuft zeitgleich physiologische Kochsalzlösung.

Zunächst wird in tiefer Inspiration eine Übersichtsaufnahme aufgezeichnet, mit deren Hilfe die Volumenbegrenzungen festgesetzt werden. Die seitlichen Begrenzungen sind durch die Herzkontur inklusive eines Sicherheitsabstandes vorgegeben. Nach Sichtung der axialen Schnittbilder sollte der kraniale Scanbeginn auf Höhe des Aortenbogens angesetzt sein, um die Abgänge der Bypassgefäße beurteilen zu können. Der Abgang der Arteriae mammae aus der Arteria subclavia wird nicht mitaufgezeichnet, da sonst das zu untersuchende Volumen zu groß wäre, die Untersuchungszeit zu lange werden würde und der Vorgang nicht in einem Atemanhalten mit ausreichender Bildqualität vollzogen werden könnte. Zudem würde

man mehr Kontrastmittel benötigen, um für die gesamte Scanzeit eine ausreichende Anflutung zur Verfügung zu haben. Zum Vergleich wird bei der CT-Angiographie der nativen Koronarien der Unterrand des Pulmonalisbogen als Anhaltspunkt für die kraniale Begrenzung verwendet. Nach weiterer Durchsichtung der axialen Schnittbilder wird der kaudale Begrenzungsrand bestimmt. Insbesondere im Falle einer Bypassanastomose mit der distalen RCA muss auch hier ein gewisser Sicherheitsabstand berücksichtigt werden. Inspiriert der Patient nämlich bei der nachfolgenden Angiographie tiefer, kann es sonst geschehen, dass das zu beurteilende Anastomosengebiet nicht mehr mit aufgezeichnet wird.

Die erhobenen Werte werden in die vorgegebene Maske eingegeben; man erhält sogleich die zu erwartende Scanzeit. Sollte diese zu lange ausfallen, kann sie durch Erhöhung des Tischvorschubs oder durch Verringerung des Untersuchungsvolumens verkürzt werden. Wenn möglich sollte der Pitch jedoch nicht größer als 0,375 sein. Muss das Volumen reduziert werden, wird dies, wie oben erwähnt, unter Berücksichtigung der vorhandenen Anastomosen erfolgen.

Anschließend wird die Zeit vom Beginn der intravenösen Injektion des Kontrastmittels bis zu dessen Anflutung in die Aorta ascendens mittels „Aortenscan“ bestimmt. Dazu werden 20 ml Kontrastmittel mit einer Geschwindigkeit von 4 ml/Sekunde verabreicht. Nach einer Zeitverzögerung von 10 Sekunden werden auf Höhe des Aortenbogens ohne Tischvorschub eine Sequenz von 10 axialen Bildern in einem Zeitintervall von 2 Sekunden aufgenommen. Durch den Menüpunkt „Time laps“ der Software wird die Veränderung der Hounsfield Einheit des angeschnitten Aortenbogens im Zeitverlauf und somit die Anflutzeit des Kontrastmittels graphisch dargestellt. Es empfiehlt sich, die Auswertung an mehreren Punkten des Aortenbogens durchzuführen. Die sich ergebende Zeitdifferenz liegt individuell unterschiedlich bei circa 12 – 20 Sekunden.

Nun folgt die eigentliche Angiographie. Der Patient wird auf das folgende Wärmegefühl hingewiesen. Zudem wird noch einmal empfohlen, bei der tiefen Inspiration nicht in vollem Umfang einzuatmen, damit sich durch Pressen kein zu hoher intrathorakaler Druck aufbaut. Dadurch könnten Kontrastmittelanflutung und Koronarfüllung negativ beeinflusst werden. Die Atemanweisungen kommen über eine Bandaufzeichnung. Unter Berücksichtigung der im Aortenscan gemessenen

Zeitverzögerung erfolgt die CTA im Doppelbolusverfahren. Es werden 30 ml Kontrastmittel mit einer Anflutgeschwindigkeit von 4 ml/sec, gefolgt von 90 ml mit einer Erhaltungsgeschwindigkeit von 2 ml/sec appliziert.

Am Ende der Untersuchung werden Blutdruck und Frequenz registriert. Die Venenverweilkanüle wird noch bis zur Endbesprechung belassen.

2.6. Bildrekonstruktion

Bis die Bildserien der entsprechend gewählten Delays rekonstruiert sind, vergehen etwa 15 Minuten, abhängig davon, wie viele Rekonstruktionen man anfordert. Zunächst erfolgen 3 Rekonstruktionen zu 50%, 60% und 70% des RR Abstandes. Primär sollten die Bilder „konventionell“ in den axialen Graustufenbildern oder in entsprechenden MIP Rekonstruktionen durchgesehen werden. Dieses für die koronaren Nativgefäße unerlässliche Verfahren ist für die Bypassdarstellung vor allem für die Anastomosenbeurteilung nötig. Zur dreidimensionalen Rekonstruktion wird das „4-D-Angio“ Programm der systeminhärenten Software Marconi MX View 3,51 eingesetzt, ein Volumen-Rendering System. Strukturen, die nicht von Interesse sind, können nach entsprechender Markierung ausgeblendet werden. Das Volumenobjekt kann in jede beliebige Richtung gedreht werden. Zunächst empfiehlt es sich, sich einen Überblick über eventuell noch in Situ vorhandene Mammaria Arterien zu verschaffen. Diese werden dokumentiert, um für eine eventuelle Re-Operation Informationen über deren Kaliber, Verlauf und Länge zur Verfügung zu haben. In dieser Oberflächen- Darstellung erhält man meist schon eine ausreichende Rekonstruktion der koronar arteriellen Bypassgefäße. Das „4 D Angio“ Programm kann sehr einfach mit einer zweidimensionalen Rekonstruktion im sogenannten „Clipping-Slab“-Modus kombiniert werden. Damit können in beliebiger Ebene zweidimensionale Durchschichtungen der gewünschten Zielregion vorgenommen werden. Durch das Einbeziehen mehrerer Schichten gewinnt man zunehmende Tiefeninformation und es folgt der Übergang in ein dreidimensionales Bild. Hiermit kann man vor allem Anastomosen und den inferioren Verlauf der Bypassgefäße zur distalen RCA herausarbeiten. Ebenso ist es, wie oben erwähnt, das Verfahren der Wahl zur Beurteilung eines Bypassverlaufes durch den Sinus Transversus. Durch die

Kombination dieser beiden Verfahren kann bereits eine ausreichende Darstellung der Bypassgefäße erfolgen. Zur Anastomosendarstellung und bei Stenosenverdacht kann noch das „curved MPR-“ und „MIP-“Verfahren oder das „Master Cut“ Programm zur isolierten Darstellung von Gefäßverläufen aufgerufen werden. Da die Bypassgefäße jedoch im Gegensatz zu den Nativgefäße keinen intramuralen Verlauf bieten und einer geringeren Eigenbewegung durch den Herzzyklus unterworfen sind, genügt meist tatsächlich die Oberflächendarstellung inklusive der „Clipping Slab“ Funktion.

Die zu untersuchenden Gefäße wurden in offen, verschlossen, hochgradig stenosiert (Stenosegrad >75%) sowie nicht sicher darstellbar eingeteilt.

2.7. Patienten und Indikationsstellung

Prinzipiell ist die Bypass-CT-Angiographie speziell in der 4 Schicht Technik für Patienten gedacht, die bezüglich einer Angina pectoris Symptomatik beschwerdefrei sind. Mit den neuen 16 oder sogar 64 Zeilen Geräten erweitert sich die Indikationsstellung sicherlich stetig. Aber auch bei diesen Geräten ist die Beurteilbarkeit der Nativgefäßen von Bypasspatienten aufgrund der meist starken Koronarkalzifizierung im Rahmen ihrer koronaren Grunderkrankung weiter eingeschränkt.

Bis auf wenige spezielle Ausnahmen waren in der durchgeführten Erhebung Patienten mit typischer Angina pectoris von der Untersuchung ausgeschlossen. Diese sollten nach wie vor einer konventionellen invasiven Linksherzkatheteruntersuchung unterzogen werden, da außer dem Bypassverschluss auch eine Progression der koronaren Nativgefäße ausgeschlossen werden muss. Für Letzteres ist die CTA Angiographie aus der Erfahrung dieser Untersuchungsreihe, speziell in der 4-Zeilen Technik, noch nicht sicher genug, um Patienten mit einer derartigen Symptomatik zu beurteilen. Die oben angeführten Ausnahmen waren Patienten, die eine stabile, gleichbleibende Angina pectoris Symptomatik beklagten und bei denen durch eine frühere Koronarangiographie bereits ein Bypassverschluss dokumentiert wurde. Damals ergab sich daraus jedoch keine weitere Interventionsmöglichkeit und es wurde ein konservativ medikamentöses Vorgehen empfohlen. Gerade für diese

Patienten ist es von größter Wichtigkeit, die verbliebenen Bypassgefäße auf ihre Funktionstüchtigkeit zu überprüfen.

Ein weiterer Indikationspunkt für die CTA Untersuchung der Bypassgefäße sind Patienten mit nicht sicher Angina-pectoris typischen Beschwerden. Bei diesen waren die gängigen, nicht invasiven Verfahren zur Ischämiesuche wie Ergometrie, Stressechokardiographie oder Myokardszintigraphie unauffällig, zur Sicherheit war aber noch eine weitere Abklärung erwünscht. Aufgrund der nicht eindeutigen Beschwerden und des fehlenden Ischämienachweises wurde eine invasive Diagnostik als noch nicht als indiziert angesehen. In einem solchen Fall kann insbesondere bei kompletter Revaskularisierung eine einwandfreie Perfusion der Bypassgefäße eine wichtige, zusätzliche Bestätigung mit großer Aussagekraft bringen.

Ausgeschlossen von der Bypassangiographie waren, wie erwähnt, Patienten mit neu aufgetretener Angina pectoris Symptomatik, Patienten mit tachykarder, medikamentös nicht ausreißend einzustellender Herzfrequenz sowie Patienten, die nicht fähig sind, den Atem ausreichend lang anzuhalten. Vorhofflimmern ist prinzipiell für die CTA Untersuchung ungeeignet, nur im Einzelfall kann sie bei weitgehend regelmäßigem Herzschlag unter 60/min durchgeführt werden. Schrittmacherträger sind nicht grundsätzlich von der CTA-Untersuchung ausgeschlossen. Bei diesem Personenkreis kann es aber zu Strahlungsartefakten vornehmlich der Ventrikelsonde („blooming“) in Projektion auf das Versorgungsgebiet der rechten Herzkranzarterie kommen. Auch hier sollte die Schrittmacherfrequenz wenn möglich auf 50/min programmiert sein.

Probleme stellte einmal ein unipolarer Vorhofspike mit einem hohen Output dar: die Softwarebasis der EKG Aufzeichnung registrierte sowohl den Vorhofspike als auch den darauffolgenden Kammerkomplex jeweils als R Welle, eine einwandfreie retrospektive EKG Triggerung war nicht mehr möglich. Da der Patient schrittmacherabhängig war, wurde die Untersuchung weiterdurchgeführt, die Bildqualität war nicht auffallend schlechter, es wurden jedoch mehrere Rekonstruktionen zu verschiedenen Delays benötigt.

Wie auch bei der CTA Untersuchung der Nativgefäße ist es wegen der räumlichen Auflösung in der Regel nicht möglich, implantierte Stents in den Bypassgefäßen mit

ausreichender Sicherheit zu beurteilen. Aufgrund des größeren Gefäßdurchmessers ist es zwar im Vergleich zu den Nativgefäßen oft möglich im Längsdurchmesser eine schmale Kontrastmittelanfärbung darzustellen, eine In-stent-Stenose kann davon aber nicht hinreichend unterschieden werden. Ein Stentverschluß lässt sich dann jedoch ausschließen. Darauf sollte der Patient hingewiesen werden. Da somit ein wesentlicher Punkt nicht beurteilt werden kann, wurde in dieser Arbeit kein Patient mit gestentetem Bypassgefäß eingeschleust.

Für die CT-Angiographie der koronaren Nativgefäße wird meist ein koronarer Kalkscore nach Agatston unter 1000, von manchen Autoren auch unter 800¹⁹, gefordert, da eine massive Sklerosierung ähnlich wie Stents keine befriedigende Beurteilung der Lumenfüllung erlaubt. Die degenerierten Bypassgefäße enthalten bekanntlich fibrinoid-cholesterinoiden Sludge, eine ausgeprägte Kalzifizierung der Bypassgefäße ist eher die Ausnahme. Probleme bereitet natürlich, wenn die Anastomose inzwischen eine starke Verkalkung aufweist. Dies ist eher selten, da die Anastomosenstelle von den Herzchirurgen in der Regel an sklerosearmen Abschnitten gewählt wird. Somit ist die Einschränkung der Bypassuntersuchung durch einen erhöhten Agatston Score nicht als gravierend einzuschätzen.

Die CT Angiographie ist generell auch dadurch limitiert, dass keine Flussdynamik beurteilt werden kann, somit die Aussage zu retrograder Füllung und Kollateralisierung schwer fällt.

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
1. asymptomatische Patienten	1. Neu aufgetretene Angina pectoris
2. Patienten mit stabiler AP, die früher bereits durch eine Koronarangiographie abgeklärt wurde	2. Tachykarde Herzrhythmusstörung
3. Für Angina pectoris atypische Beschwerden bisher ohne Ischämienachweis	3. Stentimplantation in den Bypassgefäßen

Tabelle 2: Ein- und Ausschlusskriterien für die nicht-invasive Bypass CTA

2.8. Nachbeobachtung der untersuchten Patienten

Die Nachbeobachtung der Patienten erfolgte entweder durch ein Telefoninterview oder durch Analyse der inzwischen wieder durchgeführten kardiologischen Kontrolluntersuchung. Teilweise wurde mit den weiterbetreuenden Kollegen externer Praxen Kontakt aufgenommen.

3. Fallbeispiele

Die folgenden Beispiele sollen einen kleinen Einblick über die Möglichkeiten der CTA Untersuchung geben.

Die Bilder 1 bis 4 zeigen Bypassdarstellungen zweier aorto-koronarer Venenbypassgefäße auf RIVA und RCX. Die Bypassoperation wurde vor 4 Jahren durchgeführt, der Patient ist bezüglich einer Angina pectoris Symptomatik beschwerdefrei, es besteht somit ein gutes postoperatives Langzeitergebnis ohne spezielle therapeutische oder diagnostische Konsequenz. Die Bilder 3 und 4 sind MPR Darstellungen der Bypassgefäße. Auffallend war die für venöse Bypassgefäße untypische diffuse Randsklerosierung, die schon fast einer langstreckigen Stentüberbrückung gleicht, was aber in diesem Fall nicht vorlag.

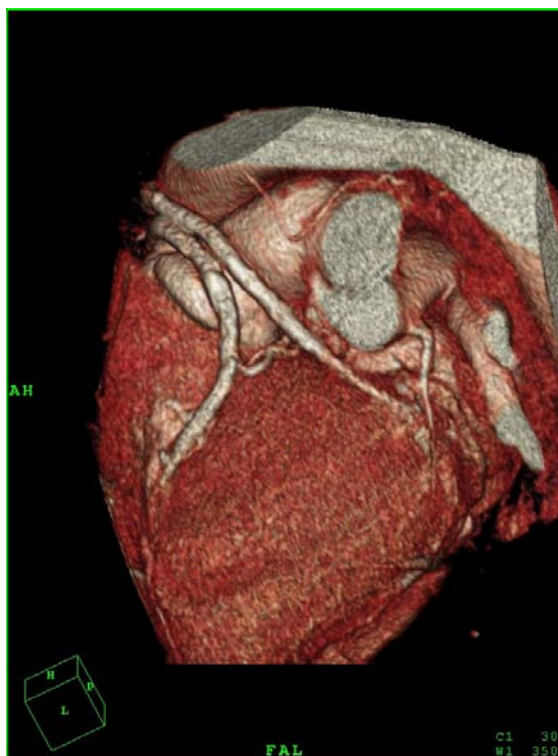


Abbildung 1: Venen Bypassgefäße auf LAD und RCX; LAO Projektion

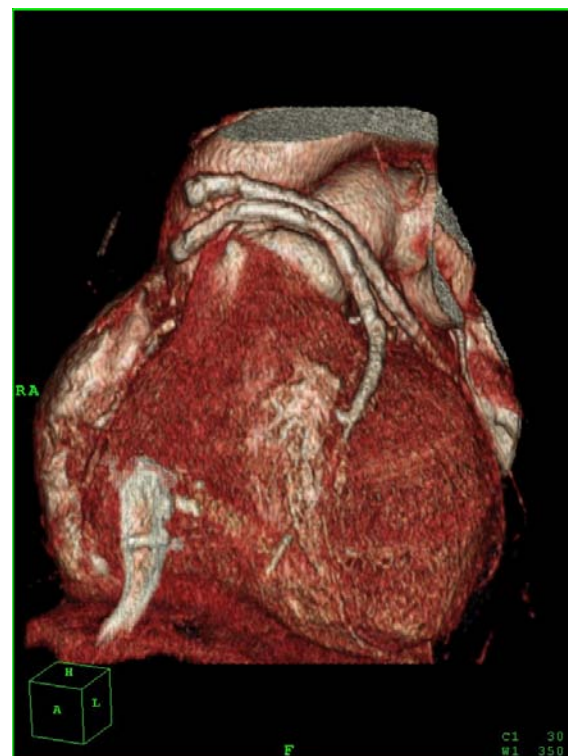


Abbildung 2: Venenbypass auf LAD und RCX; p.a. Projektion



**Abbildung 3: MPR Darstellung;
Venenbypass auf RCX**



**Abbildung 4: MPR Darstellung;
Venenbypass auf LAD**

Der Patient der Bilder 5 bis 7 unterzog sich vor 12 Jahren einer koronaren 4-fach Bypass Operation. Er ist beschwerdefrei und kam zur Nachsorge aufgrund des etwas fortgeschrittenen Alters seiner Bypassgefäße zur CTA.

Damals wurde ein LIMA Bypass zum Ramus diagonalis sowie je ein Venenbypass zu LAD, Ramus marginalis und zur RCA angelegt.

Man erkennt die unauffällige Darstellung der Venengrafts zu LAD und Ramus marginalis sowie die LIMA. Am lateralen Bildrand findet sich aber der typische, in diesem Beispiel sogar fast überdimensionale Bypassstummel des am Abgang aus der Aorta ascendens verschlossenen Venenbypasses zur RCA.

Dieser Befund wurde nun mit dem präoperativen Katheterbefund korreliert. Die klein angelegte proximal verschlossene RCA wurde bereits damals kräftig durch Kollateralen des RCX versorgt, zudem entwickelte sich im entsprechenden Versorgungsgebiet eine Infarzierung. In Anbetracht aller Befunderhebungen besteht auch hieraus keine weiterführende Konsequenz.

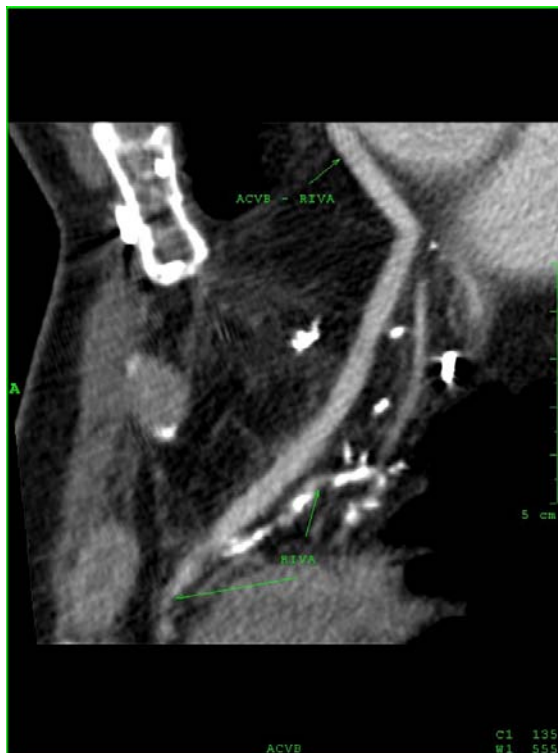
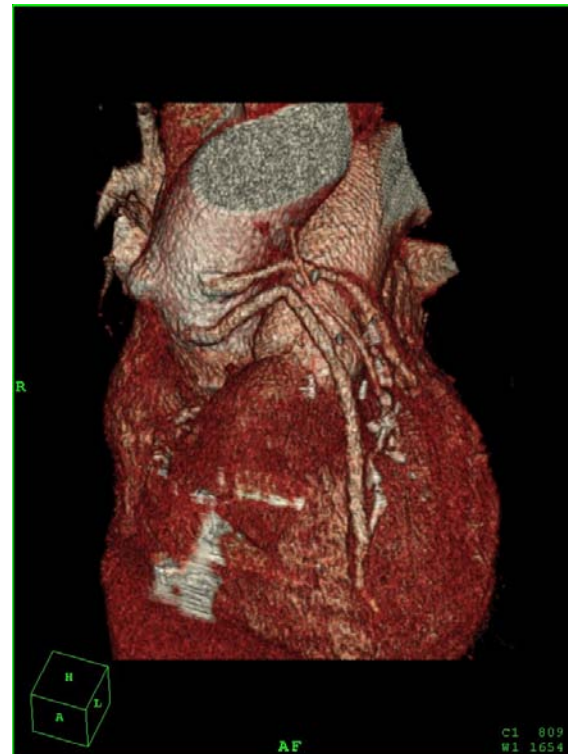


Abbildung 5: links oben: ACVB zu LAD und R.marginalis, LIMA zu R.diagonalis

Abbildung 6: rechts oben: gleicher Patient wie Abb 5, Bypassverschluss zu RCA

Abbildung 7: links unten: ACVB zu LAD (MPR)

Dieses Beispiel erhellt jedoch die Komplexität der Befunde und wie wichtig es ist, diese individuell zu beurteilen. Wäre die RCA größer angelegt und hätte sie keine Infarkt Narbe als Versorgungsgebiet, würde man auch einem (aufgrund der

Kollateralen) beschwerdefreien Patienten zu einer Rekoronarangiographie raten, um die Möglichkeit einer Intervention am Nativgefäß zu beurteilen. Die Überlegung ist, dass im Falle einer hämodynamischen Stenose des Kollateralen abgebenden RCX es zu einer gefährlichen, ausgedehnten Myokardischämie der gesamten Hinter-Seitenwand (RCA- und RCX-Versorgungsgebiet) kommen würde. Aus prognostischer und prophylaktischer Sicht könnte man die Ausdehnung einer vermeintlichen Myokardischämie durch frühzeitige Intervention verringern.

In Bild 8 und 9 kommen 2 drei-Jahre alte aorto-koronare Venenbypassgefäße zur LAD und zum RCX zur Darstellung. Hier ist die Anastomose zum RCX gut zu beurteilen, im weiteren Verlauf zeigen sich auch die RCX Endäste gut kontrastiert.



Abbildung 8: AVCB zu LAD und RCX



Abbildung 9: ACVB zu LAD und RCX (2)

In den Bildern 10 und 11 erkennt man eine unauffällige Darstellung eines LIMA Bypassgefäßes zur LAD. Die MPR Rekonstruktion zeigt den Verlauf und die Metallclips zur Ligatur der von der LIMA abgehenden Seitenäste. In dieser Aufnahme zeigt sich die Vermutung einer höhergradigen Stenosierung des abführenden Nativgefäßes, durch Darstellung in mehreren Ebenen wurde diese aber nicht als

hochgradig eingestuft. Die Beurteilung der Nativgefäße war ja wie eingangs festgehalten nicht die primäre Zielsetzung dieser Arbeit.



Abbildung 10: LIMA zu LAD

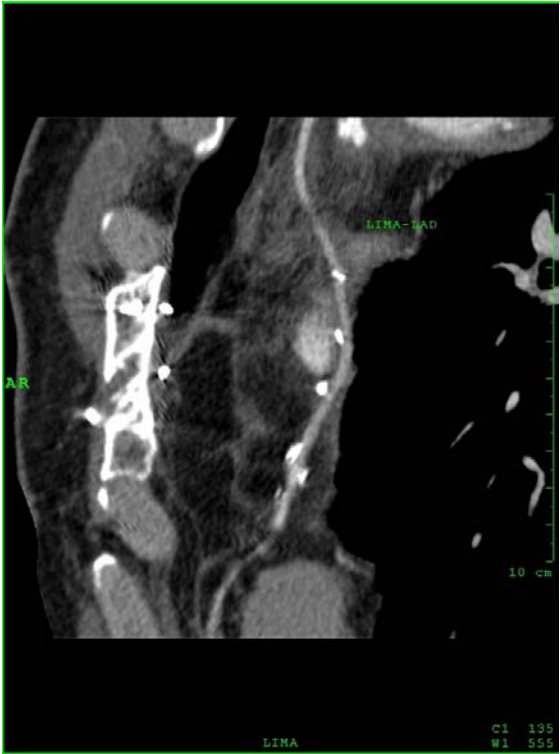


Abbildung 11: LIMA zu LAD (MPR)

Zuletzt demonstrieren die Bilder 12 und 13 die „Slab Funktion, mit der man in der drei-dimensionalen Rekonstruktion durch das Zielvolumen schichten kann. In diesem Beispiel lag ein venöser Bypass extrem dicht hinter dem Sternum, welches somit nicht virtuell entfernt werden konnte, ohne den Gefäßverlauf abzubrechen.



Abbildung 12: ACVB zu LAD, verdeckt durch Sternum



Abbildung 13: wie Abb. 12, „Slab“ durch Sternum

Wie schon im Kapitel „2.7. Patienten und Indikationsstellung“ angeführt, ist neben der Nachsorge beschwerdefreier Patienten die nicht-invasive Bypassangiographie auch für eine spezielle Gruppe von Patienten mit Angina Pectoris Symptomatik oder Ischämienachweis eine sinnvolle und interessante Alternative zur Linksherzkatheteruntersuchung:

Zum Kreis der Untersuchten gehörten mehrere Patienten mit einer „ausgebrannten“ koronaren Herzerkrankung“, die sich mitunter schon mehrfachen Bypassoperationen unterzogen hatten und bei denen aufgrund des Ergebnisses bereits durchgeführter Linksherzkatheteruntersuchungen keine sinnvolle weitere Intervention mehr möglich schien. Teilweise hatten sich bereits mehrere Bypassgefäße wieder verschlossen und die gesamte Myokardperfusion hing nur noch von der Perfusion eines oder

zweier verbliebener Bypassgefäße ab; deren einwandfreie Funktion somit von größter Bedeutung war.

Als Beispiel ist der Fall eines 84-jährigen noch sehr rüstigen Patienten angeführt, der bei bekannter, maximal konservativ behandelter Angina Pectoris Symptomatik über zunehmende Abnahme der Belastbarkeit klagte. Nach 1983, 1989 und 1993 durchgeführten CABG Operationen wurde 1998 lediglich noch ein funktioneller Venenbypass zur RCA dokumentiert, ein weiterführendes interventionelles Vorgehen war nicht mehr möglich. Dieser venöse Bypass konnte glücklicherweise in der CTA unauffällig dargestellt werden.

Ähnlich verhielt es sich bei einem 81-jährigen, beruflich noch hochaktiven Patienten. Bei ihm war 1980 eine venöse Bypassoperation auf LAD, RCX, RCA und Ramus diagonalis durchgeführt worden. 1999 konnte nur noch der Venengraft zur RCA dargestellt werden, worauf als letzte Möglichkeit noch ein LIMA Bypass zur LAD angelegt wurde. Beide verbliebene Grafts waren in der CTA Untersuchung unauffällig.

4. Ergebnisse

4.1. Patientendaten

Im genannten Zeitraum wurden die Bypassgefäße von 103 Patienten mittels CT-Angiographie auf ihre Offenheit untersucht. Der Frauenanteil war mit 6,8% vergleichsweise niedrig. Das Alter der Patienten betrug im Mittel 66 Jahre (± 9), der jüngste Patient war 41, der älteste 86 Jahre alt. Die Bypassoperation lag im Durchschnitt 5,5 Jahre ($\pm 5,1$) zurück, (1,8 Monate bis 22,1 Jahren). Im Mittel wurden pro Patient 3 Bypassgefäße ($\pm 1,17$) untersucht, bei einer Streuung von einer Einfach- bis zu einer Sechsfach-Bypassanlage. Insgesamt wurden 316 Bypassgefäße untersucht.

66 Patienten (64%) waren vollkommen beschwerdefrei, sie ließen ihre Bypassgefäße routinemäßig auf ihre Offenheit hin überprüfen. Angina pectoris atypische Beschwerden wie belastungsunabhängige thorakale Schmerzen, unspezifische Atemnot oder eingeschränkte Belastbarkeit beklagten 35 Patienten (34%). 2 Patienten (2%) wurden bei bekannter, gleichbleibend stabiler Angina pectoris Symptomatik angiographiert. Wie oben angeführt hatten sie bereits Reoperationen aufgrund von Bypassverschlüssen hinter sich, eine komplette Revaskularisierung konnte nicht mehr erreicht werden. Somit war die stabile Angina pectoris Symptomatik erklärt, die Funktionstüchtigkeit der verbliebenen Bypassgefäße sollte mit der CT-Angiographie bestätigt werden.

In 12 Fällen (11,6%) wurde bereits durch eine früher durchgeführte Koronarangiographie ein Verschluss von einem oder mehreren Bypassgefäßen dokumentiert. Bei diesen Patienten sollten die verbliebenen Bypassgefäße auf ihre Offenheit hin überprüft werden

Von den 316 untersuchten Bypassgefäßen waren 116 (36,7%) arteriellen, 200 (63,3%) venösen Ursprungs. Bei den arteriellen Bypassgefäßen wurde 85 mal (26,9%) die linke Arteria mammaria interna (LIMA), 22 mal (7%) die rechte Arteria mammaria interna (RIMA) und 9 mal (2,8%) die Arteria radialis zur Überbrückung verwendet. 20 mal wurden in einer Operation gleichzeitig beide Mammaria Arterien

verwendet, 2 mal erfolgte eine dreifache arterielle Revaskularisierung mit Verwendung beider Mammaria Arterien und der Arteria radialis. Insgesamt wurden 18 sequentielle Bypassgefäße angelegt.

4.1.1. Kardiovaskuläre Risikofaktoren

Die klassischen Risikofaktoren für die Entstehung einer koronaren Herzerkrankung wurden wie folgt erhoben: 64% der Patienten hatten eine arterielle Hypertonie, 70,6% eine Hyperlipidämie, 25,5% einen Diabetes mellitus. Bei 44,1% der Fälle war eine familiäre Disposition für kardiovaskuläre Erkrankungen zu eruieren. 52% der Patienten hatten einen inzwischen eingestellten Nikotinkonsum, 7,8% führen diesen weiter fort.

4.1.2. Medikamentöse Vorbehandlung

82,4% der Patienten nahmen regelmäßig Acetylsalicylsäure ein, 6,9% Clopidogrel. Mit 90,2% lag die Einnahme von Statinen sehr hoch. Bei 79,4% war ein Beta Blocker, bei 62,7% ein ACE-Hemmer verordnet worden.

4.2. Gesamtergebnisse für die Bypassgefäße

Mit der nicht invasiven Bypassangiographie durch das MSCT konnten von den 316 Gefäßen 243 (76,9%) als offen, 65 (20,6%) als verschlossen, 1 (0,3%) als hochgradig stenosiert und 7 (2,2%) als nicht sicher darstellbar eingestuft werden.

n	Bypass-gefäße			venöse Bypässe		arterielle Bypässe	Arteria radialis	
	Bypässe	LIMA	RIMA	LIMA	RIMA			
Gesamt	316	200	116	85	22	9		
offen	243	141	102	77	17	8		
verschlossen	65	55	10	7	3	0		
stenosiert	1	1	0	0	0	0		
nicht sicher darzustellen	7	3	4	1	2	1		

Tabelle 3: Gesamtergebnis der CTA Untersuchung

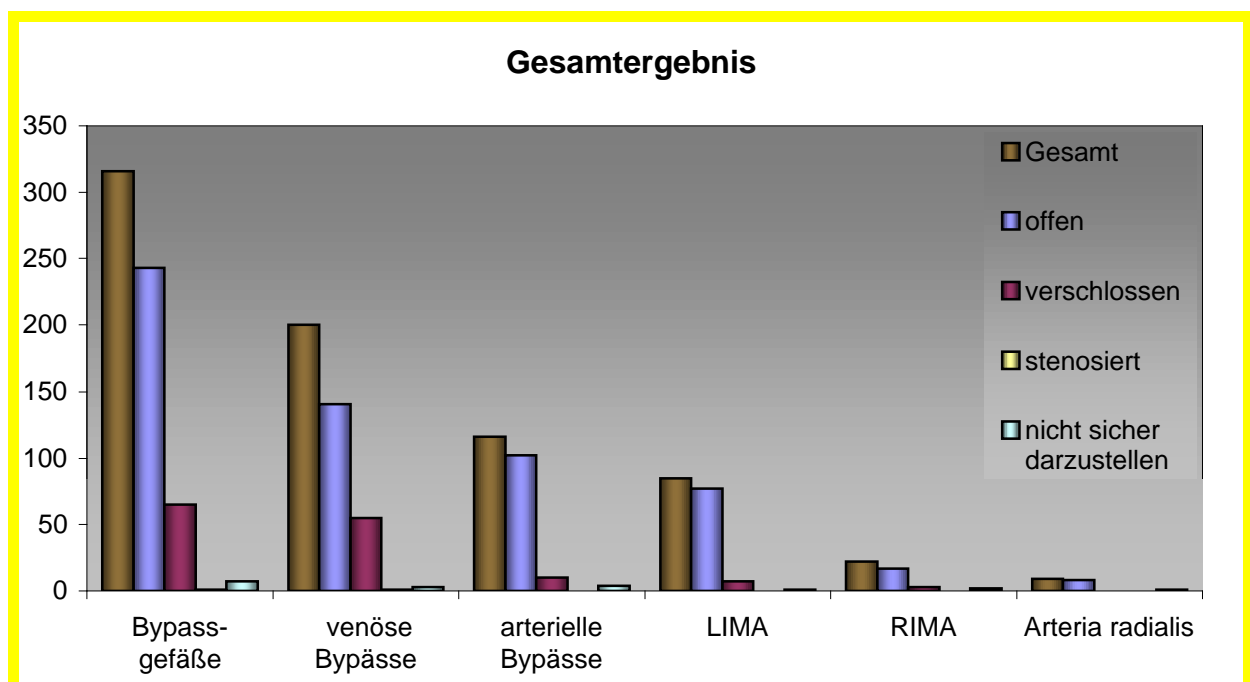


Abbildung 14: Gesamtergebnis der CTA Untersuchung

Bei 39 (37,9%) der 103 Patienten waren Bypassgefäße verschlossen, bei 12 Patienten (11,6%) war dieser Befund bereits durch eine früher durchgeführte Linksherzkatheteruntersuchung bekannt. Der Bypassverschluss war also für 27 Patienten (26,2%) ein neuer Befund. Eine uncharakteristische, nicht Angina pectoris typische Symptomatik waren für 9 dieser 27 Patienten der Grund für die nicht-invasive Bypassangiographie. Somit war aufgrund des Fehlens jeglicher Symptomatik der Bypassverschluss für 18 Patienten (17,4%) ein völlig unerwartetes Ergebnis.

Von den 200 venösen Gefäßen waren 141 (70,5%) offen, 55 (27,5%) verschlossen, 1 (0,5%) hochgradig stenosiert und 3 (1,5%) nicht sicher darstellbar. Bei den 116 arteriellen Bypassgefäße waren 102 (87,9%) offen, 10 (8,6%) verschlossen und 4 (3,5%) nicht sicher darstellbar. Hier konnte kein hochgradig stenosiertes Gefäß nachgewiesen werden. Arterielle Bypassgefäße zeigten somit eine höhere Offenheitsrate als venöse Bypassgefäße.

Auch bei der Aufteilung der arteriellen Bypassgefäße konnte ein besseres Abschneiden der linken Arteria mammaria interna dokumentiert werden. Während die linke Arteria mammaria interna (LIMA) zu 90,6% (77 der 85 Gefäße) offen war, hatte die rechte Arteria mammaria interna (RIMA) lediglich eine Offenheitsrate von 77,3% (17 der 22 Gefäße). Letztere war 14 mal auf die LAD angelegt, sie zeigte hier eine Offenheit von 85,8%, einmal war sie verschlossen (7,1%) und einmal nicht sicher darstellbar (7,1%). Versorgt sie aber das Versorgungsgebiet des RCX (5), war sie 2-mal verschlossen (40%) und 1 mal nicht sicher darstellbar (20%). Sie hatte hier somit lediglich eine nachgewiesene Offenheit von 40%.

Die Arteria radialis kam mit 88,9% Offenheit (8 der 9 Gefäße) weitgehend an die Datenlage der LIMA, zu bedenken ist jedoch die statistisch kleine Fallzahl. Die nicht als offen dokumentierte Arteria radialis konnte nicht sicher dargestellt werden, als sicher verschlossen konnte keine der 9 Radialarterien gefunden werden.

Insgesamt „nicht sicher darzustellen“ waren eine linke Arteria mammaria, zwei rechte Arteriae mammae und die erwähnte eine Arteria radialis.

%	Bypass- venöse arterielle			Arteria		
	gefäße	Bypässe	Bypässe LIMA	RIMA	radialis	
Gesamt	100,0	63,3	36,7	26,9	7,0	2,8
offen	76,9	70,5	87,9	90,6	77,3	88,9
verschlossen	20,6	27,5	8,6	8,2	13,6	0,0
stenosiert	0,3	0,5	0,0	0,0	0,0	0,0
nicht sicher darzustellen	2,2	1,5	3,4	1,2	9,1	11,1

Tabelle 4: Prozentuale Ergebnisse der CTA Untersuchung

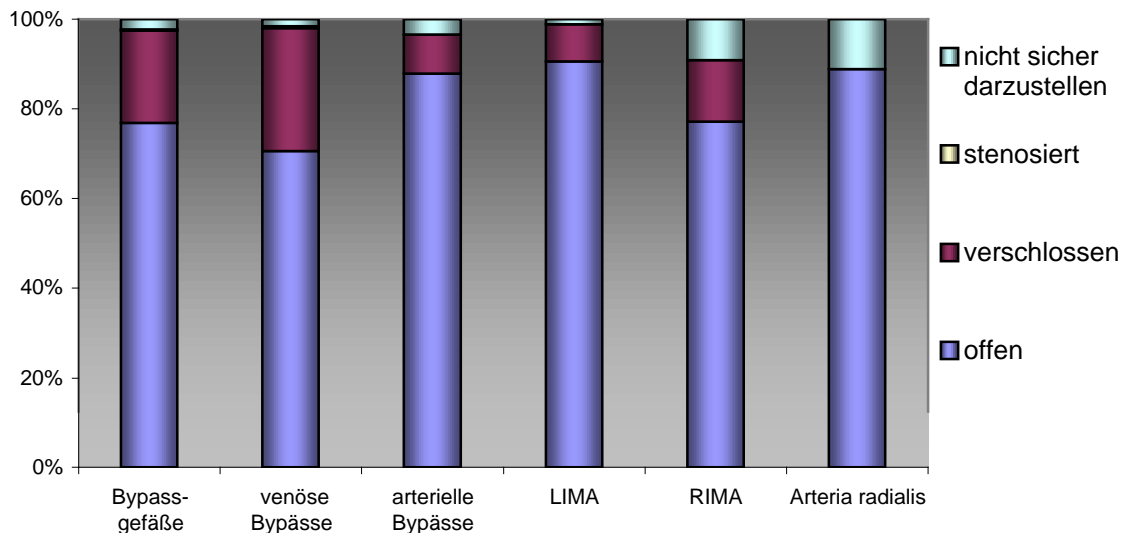


Abbildung 15: prozentuale Aufteilung der Gefäße nach ihrem Offenheitszustand

4.3. Versorgungsgebiete der Bypassgefäße

Die koronaren Versorgungsbereiche wurden in LAD-, RCX-, RCA-Gebiet eingeteilt, auf eine weitere Differenzierung in Versorgungsgebiete der größeren Seitenäste (Diagonaläste, Marginaläste, Ramus interventrikularis posterior beziehungsweise Ramus posterolateralis dexter) wurde verzichtet. Dies erklärt, weshalb in der vorliegenden Statistik ein Patient oft mehrfach dasselbe Versorgungsgebiet revaskularisiert bekam (als Beispiel LIMA auf LAD und Venenbypassgefäße auf beide Diagonaläste).

4.3.1. LAD- Versorgungsgebiet

Das LAD-Gebiet wurde 156 mal mit einem Bypass versorgt. Dabei wurde 69 mal ein venöser und 87 mal ein arterieller Bypass verwendet. Die arteriellen Bypassgefäße teilten sich in 73 LIMA- und 14 RIMA-Gefäße auf.

Die Offenheit betrug 75,4 % bei den venösen und 90,8% bei den arteriellen Bypassgefäßen, beziehungsweise 91,8% bei den LIMA- und 85,7% bei den RIMA-Gefäßen.

4.3.2. RCX- Versorgungsgebiet

In das RCX-Areal wurden 98 Bypassgefäße verlegt, davon 77 venöse und 21 arterielle Bypassgefäße, welche sich wiederum auf 12 LIMA-, 5 RIMA- und 4 Arteria Radialis-Gefäße aufteilten. Die Offenheitsrate betrug 63,6% bei den venösen und 76,2% bei den arteriellen Gefäßen. Hier war die LIMA zu 83,3%, die RIMA zu 40% (siehe Kapitel 4.2) und die Arteriae radiales zu 100% offen.

4.3.3. RCA- Versorgungsgebiet

Die RCA wurde 62 mal revaskularisiert. 54 mal wurde ein venöser, 8 mal ein arterieller Bypass (3 RIMA-Gefäße und 5 Arteriae radiales) eingesetzt. Die venösen Bypassgefäße waren in 74,1%, die arteriellen in 87,5% (RIMA 100%, Arteria radialis 80%) der Fälle offen.

Abbildung 16 und Tabelle 5 zeigen einen detaillierten Überblick über die versorgungsgebietsabhängigen Bypassgefäße.

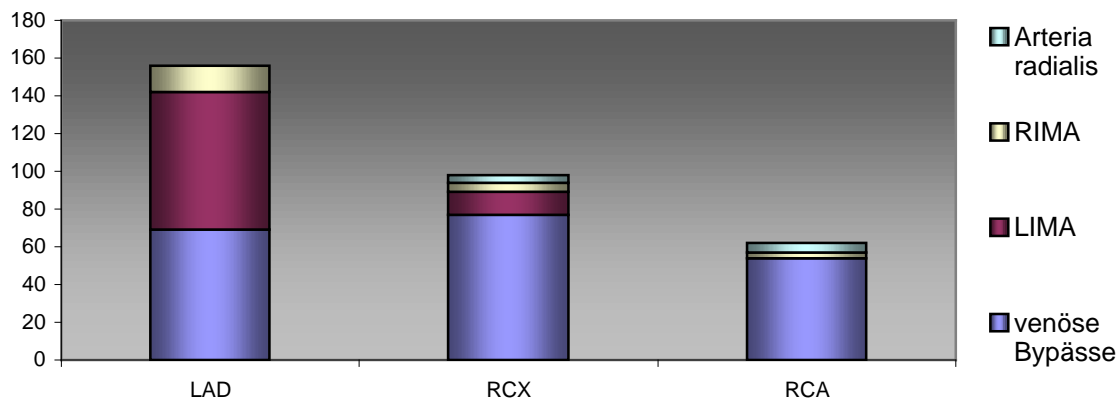


Abbildung 16: Versorgungsgebiete der Bypassgefäße

n	Bypass-		arterielle			Arteria radialis
	gefäße	venöse Bypässe	Bypässe	LIMA	RIMA	
LAD	156	69	87	73	14	0
RCX	98	77	21	12	5	4
RCA	62	54	8	0	3	5

Tabelle 5: Bypassgefäße anhand der entsprechenden Versorgungsgebiete

4.4. Offenheit der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Operationszeitpunkt

Zwischen der Bypassoperation und der CTA-Untersuchung vergingen im Mittel 5,56 Jahre ($\pm 5,12$ Jahre). Die ältesten Bypassgefäße waren 22,1 Jahre, die jüngsten gerade 0,15 Jahre (1,8 Monate) alt.

Anhand der Literaturangaben über Nachbeobachtungen koronarer Bypassgefäße wurden zur Einteilung die folgenden, häufig verwendeten Intervalle bestimmt: kleiner 1 Jahr, 1 - 2 Jahre, 3 - 4 Jahre, 5 - 6 Jahre, 7 - 9 Jahre, 10 - 12 Jahre, 13 - 16 Jahre, 17-22 Jahre.

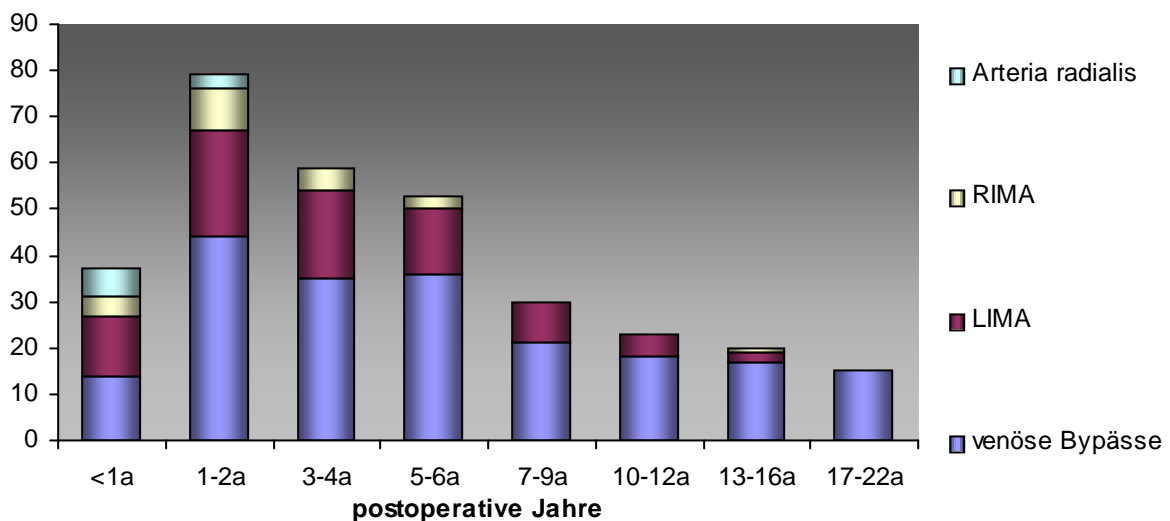


Abbildung 17: Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf

Die meisten Herzkranzgefäße (79) wurden nach einem Intervall von 1-2 Jahren untersucht, gefolgt vom 3-4 Jahre- (59 Gefäße) und 5-6 Jahre- Intervall (53 Gefäße), von da an nahmen die Zahlen der untersuchten Bypassgefäße kontinuierlich ab. Aber auch bereits innerhalb des ersten postoperativen Jahres wurden bereits 37 Gefäße untersucht (Abbildung 17).

Wie zu erwarten war, nahm der Anteil der arteriellen Bypassgefäße in den letzten Jahren kontinuierlich zu. Wurden 17 und 22 Jahre vor der CTA Untersuchung (also etwa zu Beginn der 80-er Jahre) ausschließlich venöse Conduits bei den untersuchten Patienten eingesetzt (100%), waren es im ersten postoperativen Jahr lediglich noch 37,8% (Abbildung 18). Im Gegenzug erhöhte sich die Anzahl der

arteriellen Bypassgefäße von 0% (17-22 Jahre) auf zuletzt 62,2%. Der Anteil der verwendeten LIMA-Gefäße betrug zuletzt 35,1%, der RIMA-Gefäße 10,8% und der Arteriae radiales sogar 16,2%. Letztgenannte wurden erstmals im Intervall 3-4 Jahre eingesetzt, ihr Anteil betrug damals lediglich 3,8%.

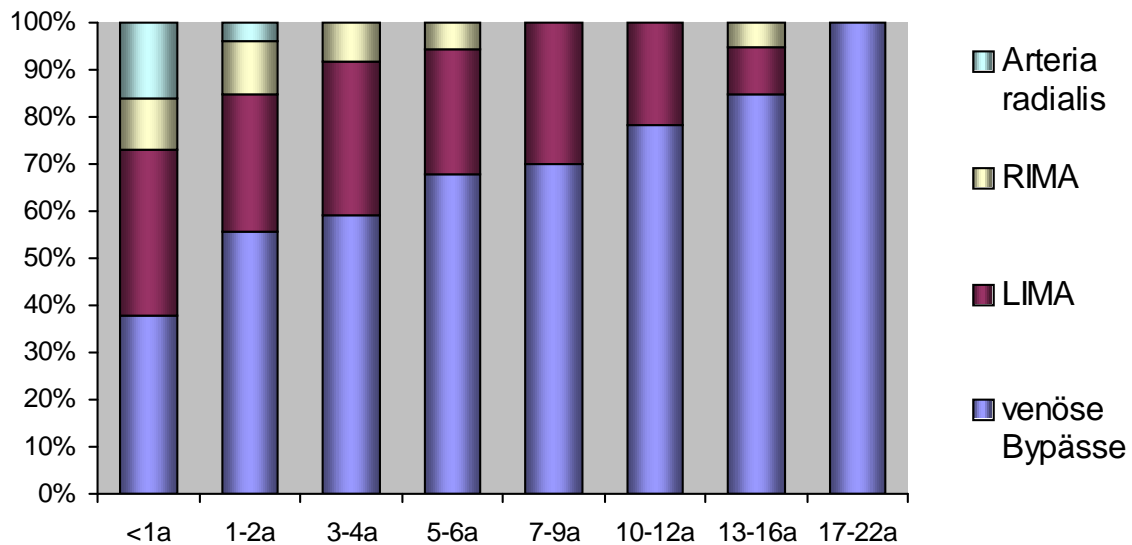


Abbildung 18: Prozentualer Graftanteil im zeitlichen Verlauf

n	< 1a	1-2a	3-4a	5-6a	7-9a	10-12a	13-16a	17-22a
offen	32	66	52	41	21	10	16	5
verschlossen	2	11	7	11	9	12	4	9
stenosiert	1	0	0	0	0	0	0	0
Nicht darzustellen	2	2	0	1	0	1	0	1
Summe	37	79	59	53	30	23	20	15

Tabelle 6: Ergebnisse über die Offenheit der Bypassgefäße analog des zeitlichen Verlaufs

Des weiteren soll untersucht werden, nach welchem Intervall die Offenheitsrate von Bypassgefäßen verstärkt abnimmt und ob sich die Daten hinsichtlich der Art der Gefäße unterscheiden.

%	<1a	1-2a	3-4a	5-6a	7-9a	10-12a	13-16a	17-22a
alle Bypassgefäße	86,5	83,6	88,1	77,4	70	43,5	80	33,3
venöse Bypässe	78,6	79,6	82,9	72,2	76,2	33,3	76,5	33,3
arterielle Bypässe	91,3	88,6	95,8	88,2	55,6	80	100	
LIMA	100	91,3	94,7	100	55,6	80	100	
RIMA	75	77	100	33,3			100	
Arteria Radialis	83,3	100						

Tabelle 7: nachgewiesene Offenheit der Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf

Betrachtet man die Gesamtheit der verwendeten Bypassgefäße, lässt sich, wie erwartet, ein kontinuierlicher Zuwachs der Verschlussrate feststellen (Abbildung 19). Lediglich das Intervall zwischen 13 und 16 Jahren nach der Bypass Operation zeigt einen untypischen Verlauf mit ungewöhnlich hohen Offenheitsraten. Mögliche Gründe dafür sollen im Kapitel „5.4.5.“ und in der „Diskussion“ erörtert werden. Waren im ersten Jahr nach der Bypassoperation noch 86,5 % der Bypassgefäße offen und 5,4% verschlossen, so waren nach 22 Jahren nur noch 33,3% der Gefäße offen und 60% verschlossen. 10 Jahre nach der Bypassoperation steigt die prozentuale Verschlussrate deutlich an (Abbildung 19)

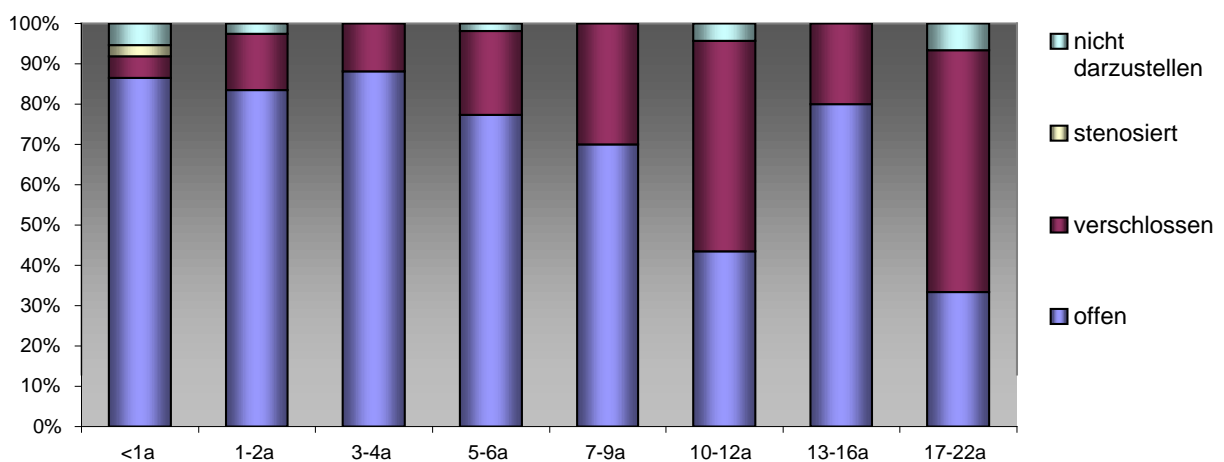


Abbildung 19: prozentuale Darstellung der Bypassergebnisse im zeitlichen Verlauf

4.4.1. Venöse Bypassgefäße

Die Verschluss- bzw. Offenheitsraten der venösen Bypassgefäße fallen, wie vermutet, etwas ungünstiger aus (Abbildung 20). Bereits nach einem Jahr waren 14,3% der Gefäße verschlossen, 78,6% waren noch durchgängig. Nach 10-12 Jahren waren lediglich noch 33,3 % der Gefäße offen, 61,1% verschlossen. Auf das nicht konform laufende 13-16 Jahre Intervall wurde bereits hingewiesen. Die Patienten, die nach 17 Jahren mittels CTA nachuntersucht wurden, unterschieden sich in der Gruppe der venösen Bypassgefäße nicht mehr vom Gesamtkollektiv, da in jenem Intervall dieses Patientenkollektiv nur venöse und keine arteriellen Bypassgefäße erhielt.

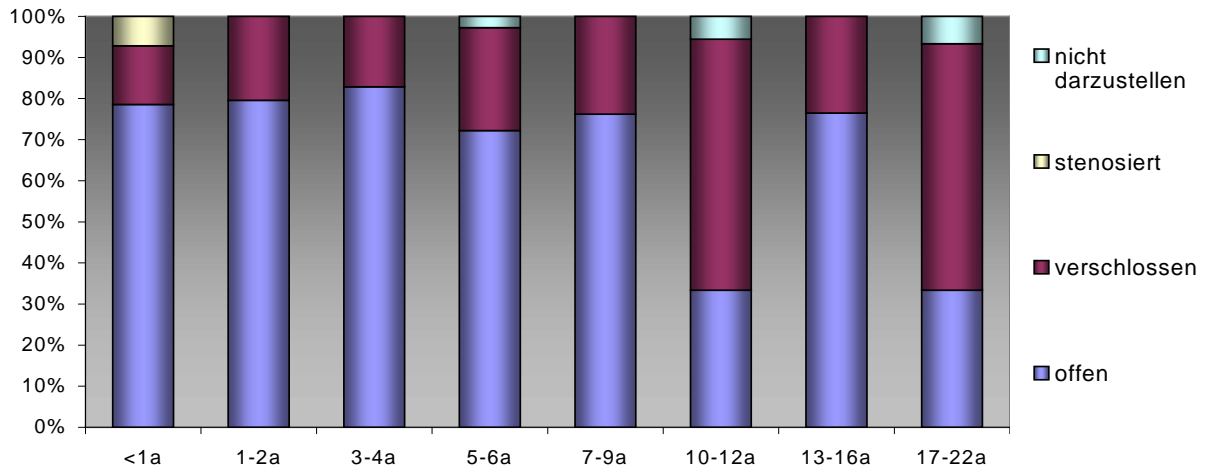


Abbildung 20: prozentuale Darstellung der Ergebnisse venöser Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf

4.4.2. Arterielle Bypassgefäße

Die arteriellen Bypassgefäße zeigten im ersten Jahr eine nachgewiesene Offenheitsrate von 91,3%, verschlossen wurde kein arterieller Bypass dokumentiert, 2 Bypassgefäße (8,7%) konnten jedoch nicht sicher beurteilt werden (Abbildung 21). Bis zum siebten postoperativen Jahr lag die Offenheit zwischen 88,2 und 95,8%, die Verschlussrate zwischen 5,7 und 11,8%. Nach dem 7. postoperativen Jahr war die Anzahl der beobachteten Bypassgefäße derart gering, dass sich eine große statistische Streuung ergab. Die Verschlussrate variierte von 44,4% im 7.-10. postoperativen Jahr über lediglich 20% im 10.-13. postoperativen Jahr, bis hin zu sogar 0% Verschlüssen im 13.-16. postoperativen Jahr. Fasst man die Intervalle vom 7. bis 22. Jahr zusammen, um ein statistisch größeres Kollektiv zu erhalten, ergibt sich eine Verschlussrate von 29,4%; 5 von 17 arteriellen Gefäßen waren verschlossen.

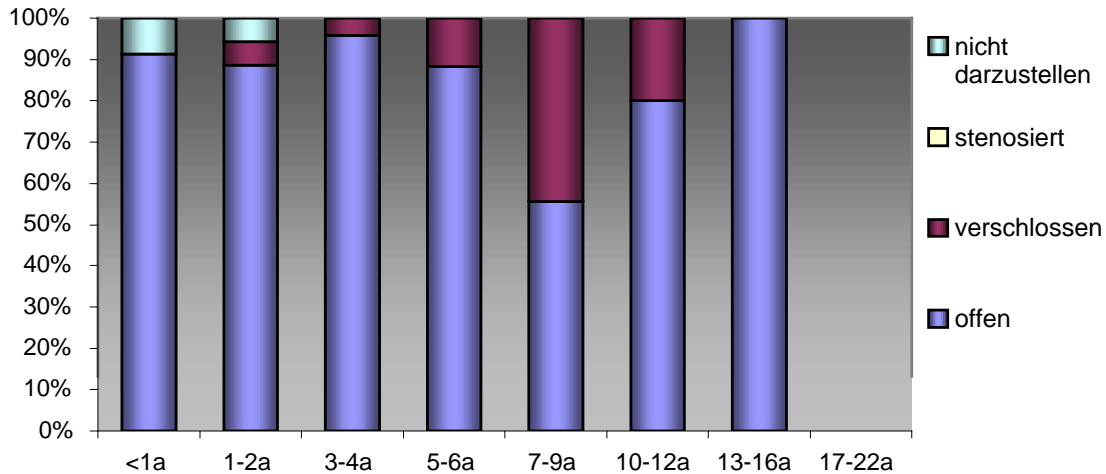


Abbildung 21: prozentuale Darstellung der Ergebnisse arterieller Bypassgefäße im zeitlichen Verlauf

4.4.2.1. LIMA Bypassgefäße

Die LIMA Gefäße weisen unter den arteriellen Gefäßen die geringste Verschlussrate auf. Ein Jahr postoperativ waren noch alle untersuchten LIMA Gefäße offen, bis zum 7. Beobachtungsjahr ergab sich eine Verschlussrate von maximal 5,3%. Danach zeigten sich wieder statistisch zu kleine Kollektive, die Verschlussrate stieg jedoch im Mittel deutlich auf 31% an; 5 von 16 LIMA Gefäßen waren verschlossen.

4.4.2.2. RIMA Bypassgefäße

Die rechte Arteria mammaria interna wurde lediglich 22 mal verwendet, sie konnte zweimal nicht sicher dargestellt werden. Ohne auf die statistischen Daten bei den kleinen Beobachtungsgruppen einzugehen, zeigt sich auch hier der Trend einer erhöhten Verschlussrate nach 7 Jahren.

4.4.2.3. Arteria radialis Bypassgefäße

Bei lediglich 9 verfügbaren Arteria radialis Bypassgefäßen wurde der älteste Radialis-Bypass 1,92 Jahre nach der Operation untersucht. Es konnte kein einziger als verschlossen dokumentiert werden, ein Bypass war allerdings nicht sicher zu beurteilen.

Zusammenfassend zeigen die Bypassgefäße, wie erwartet, eine zunehmende Tendenz zum Verschluss, wobei die arteriellen Bypassgefäße den venösen diesbezüglich überlegen sind. Die Verschlussrate nimmt ab dem 7. – 10. postoperativen Jahr deutlich zu. Während sich venöse Bypassgefäße ab dem 10. postoperativen Jahr zunehmend verschließen, zeigt sich dieses Verhalten bei den arteriellen Bypassgefäßen bereits ab dem 7. postoperativen Jahr.

4.5. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Patientenalter

Das Patientenalter lag zwischen 41 und 86 Jahren und betrug im Mittel 66 Jahre. An dieser Stelle soll herausgefunden werden, ob das Patientenalter Einfluss auf die Verschlussrate hat. Dazu wurden die Gruppen der 41 - 59-jährigen und der über 60 - jährigen Patienten gesondert untersucht.

Bei den 30 Personen der Gruppe der 41-59-Jährigen betrug das Alter im Mittel 56 Jahre (± 5). Die Bypassgefäße waren im Mittel 3,71 Jahre ($\pm 3,83$) alt. Die Anzahl der eingesetzten Bypassgefäße lag im Mittel bei 2,99 ($\pm 1,22$). Bei 6 Patienten (20%) waren Bypassgefäße verschlossen. Von 98 untersuchten Gefäßen waren 85,7% offen, 13,3% verschlossen, keines hochgradig stenosierte, eines nicht sicher darstellbar. Bei den venösen Bypassgefäßen lag die Offenheit bei 80%, die Verschlussrate bei 18,2% (1,8 % nicht sicher darstellbar). Die arteriellen Bypassgefäße waren zu 93% offen und zu 7% verschlossen (Abbildung 22). Arterielle Bypassgefäße wurden in 43,9% der Fälle verwendet.

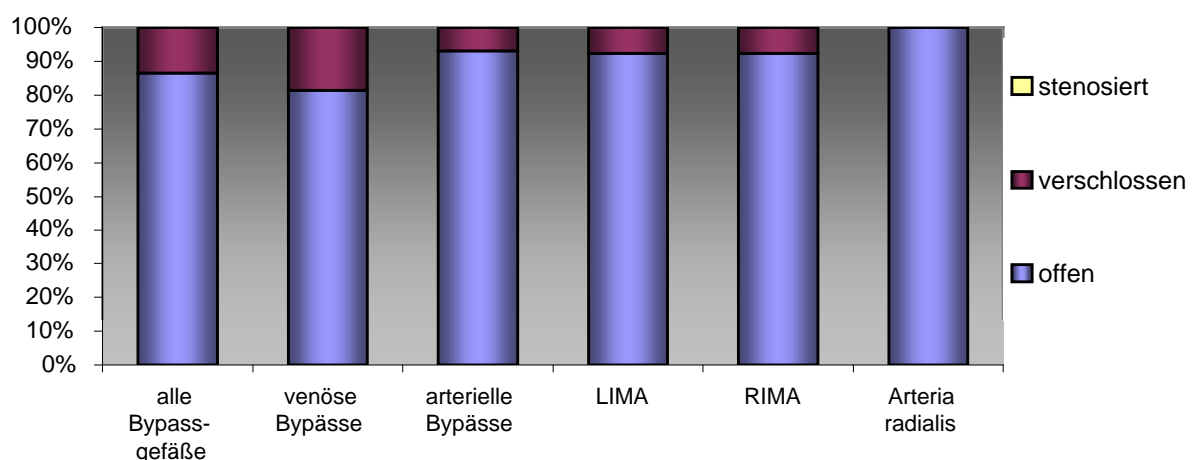


Abbildung 22: Ergebnisse der 41 – 59 jährigen Patienten

	Bypass- gefäße	venöse Bypässe	arterielle Bypässe	LIMA	RIMA	Arteria radialis
Gesamt	98	55	43	26	13	4
offen	84	44	40	24	12	4
verschlossen	13	10	3	2	1	0
stenosiert	0	0	0	0	0	0

Tabelle 8: Bypassgefäße der 41-59- jährigen Patienten

Die 73 Patienten der Gruppe der über 60 -Jährigen waren im Mittel 70 Jahre (± 7) alt, das Alter der Bypassgefäße betrug im Mittel 6,31 Jahre ($\pm 5,41$). Im Durchschnitt wurden 3,3 ($\pm 1,2$) Bypassgefäße zur Überbrückung eingesetzt. 34 untersuchte Patienten (46,6%) wiesen Bypassverschlüsse auf. Von insgesamt 218 Bypassgefäßen waren 72,9% offen, 23,9% verschlossen, 0,46% stenosiert, 2,7% nicht sicher darstellbar. Venöse Conduits waren zu 66,9% offen und zu 31% verschlossen, arterielle zu 84,9% offen und zu 9,6% verschlossen. Der Anteil der eingesetzten arteriellen Bypassgefäße betrug 33,5%.

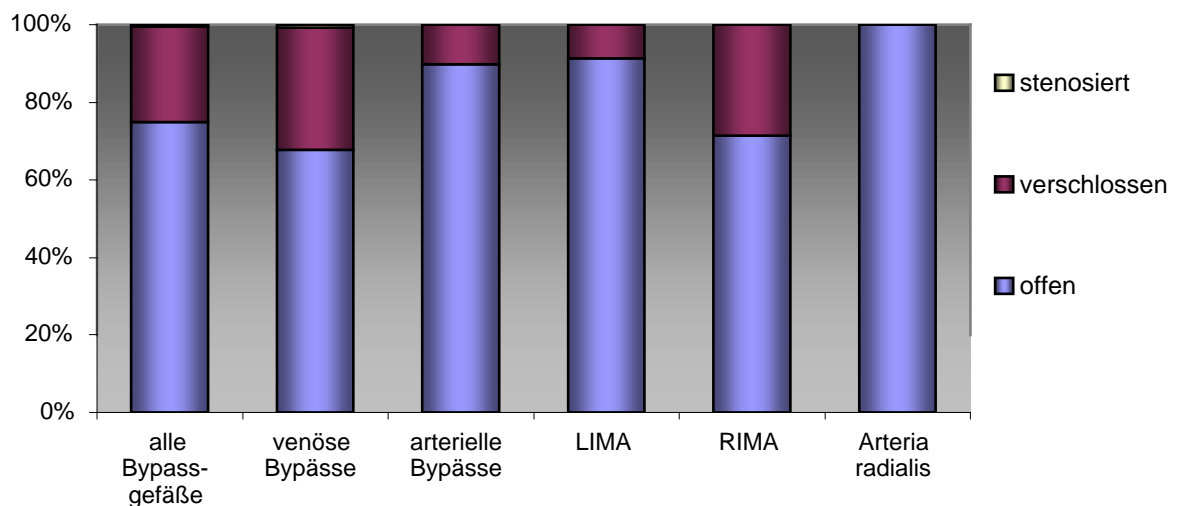


Abbildung 23: Ergebnisse der über 60 jährigen Patienten

	Bypass- gefäße	venöse Bypässe	arterielle Bypässe	LIMA	RIMA	Arteria radialis
Gesamt	218	145	73	59	9	5
offen	159	97	62	53	5	4
verschlossen	52	45	7	5	2	0
stenosiert	1	1	0	0	0	0

Tabelle 9: Bypassgefäße der über 60- jährigen Patienten

Da in den demographischen Daten in den beiden Gruppen ein deutlicher Unterschied bezüglich des Gefäßalters vorlag (6,31 Jahre in der Gruppe der über 60-Jährigen im Vergleich zu 2,99 Jahre bei der jüngeren Gruppe), wurde diese Komponenten ausgeglichen, indem man gesondert in den Gruppen die Patienten mit 3 – 4- Jahren alten Bypassgefäßen analysierte (diese zeigten die statistisch größten Fallzahlen). Dabei zeigte sich auch hier ein deutlicher Vorteil zugunsten der jüngeren Patienten. Die Offenheitsrate der venösen Gefäße beträgt hier 93,3% (im Vergleich zu 75% der über 60 -Jährigen), die Arterien schneiden mit 91,7% (im Vergleich zu 100%) etwas schlechter ab, dabei ist allerdings die statistisch kleine Fallzahl zu beachten (12 bzw. 25 arterielle Gefäße).

4.6. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Bestehen eines Diabetes mellitus

Da ein Diabetes mellitus einen erheblichen Risikofaktor für die Arteriosklerose darstellt, wird dieser Faktor als Prädiktor für die Offenheit koronarer Bypassgefäße gesondert untersucht.

26 Patienten (25,2% des Untersuchungskollektivs) litten an einem behandlungsbedürftigen Diabetes mellitus. Sie waren im Mittel 68 Jahre (± 8 Jahre) alt, die Bypassgefäße im Mittel 5,87 Jahre ($\pm 5,38$). 10 Personen (38,5% von dieser Gruppe) hatten verschlossene Bypassgefäße. Von insgesamt 76 in dieser Gruppe untersuchten Bypassgefäßen waren 79,0% offen, 18,4% verschlossen, 1,3% stenosiert und 1,3 % nicht sicher darstellbar. Die eingesetzten Venen waren zu 70,0%, die Arterien zu 96,2%. offen

Die 77 bezüglich eines Diabetes mellitus unauffälligen Patienten waren im Mittel 65 Jahre (± 9 Jahre) alt, deren Bypassgefäße 5,45 Jahre ($\pm 5,07$). 30 Personen (38,9%) hatten Bypassverschlüsse. Die untersuchten 240 Gefäße waren zu 76% offen, zu 21% verschlossen und zu 3% nicht sicher darstellbar. Die Offenheit der venösen Bypassgefäße betrug 70,7%, die der arteriellen 85,6%

4.7. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit weiterer kardiovaskulärer Risikofaktoren

Auch die weiteren, klassischen kardiovaskulären Risikofaktoren wie Hyperlipidämie, arterielle Hypertonie, Nikotinkonsum und familiäre Disposition sollen an dieser Stelle kurz in Bezug zum Gesamtkollektiv verglichen werden. Zur besseren Übersicht seien wesentliche Ergebnisse nachstehend nochmals aufgeführt: Das Gesamtkollektiv hatte eine Offenheit aller Bypassgefäße von 76,9%, der venösen Gefäße von 70,5% und der arteriellen Gefäße von 87,9% (kurz zusammengefasst als 76,9% / 70,5% / 87,9%).

Die 73 Patienten mit bekannter Hyperlipidämie wiesen an ihren 273 Bypassgefäßen eine Offenheit der Bypassgefäße / arteriellen Bypassgefäße / venösen Bypassgefäße von 77,4% / 70,4% / 90,4% auf. Es besteht somit kein eindeutiger Unterschied bezüglich der Offenheit des Gesamtkollektives.

Die 67 Patienten mit arterieller Hypertonie zeigten an 205 Bypassgefäßen eine Offenheitsrate von 79,5% / 73,8%, 89,3%.

61 Personen gaben einen fortgesetzten oder stattgehabten Nikotinkonsum in der Anamnese an. Ihre 188 Bypassgefäße hatten eine Offenheit von 79,8% / 70,7% / 94,4%.

45 mal konnte eine familiäre Belastung für kardiovaskuläre Erkrankungen eruiert werden, die korrespondierenden 138 Bypassgefäße waren zu 76,1% / 68,5% / 89,8% offen.

%	alle Bypass- gefäße	venöse Bypässe	arterielle Bypässe
Gesamtkollektiv	76,9	70,5	87,9
Diabetes mellitus	79	70	96,2
Hypercholesterinämie	77,4	70,4	90,4
arterieller Hypertonus	79,5	73,8	89,3
Nikotinkonsum	79,8	70,7	94,4
familiäre Belastung	76,1	68,5	89,8

Tabelle 10: Offenheit in Abhängigkeit kardiovaskulärer Risikofaktoren

Somit ließ sich am vorliegendem Kollektiv kein eindeutiger, negativer Einfluss von klassischen Risikofaktoren der Arteriosklerose auf die Offenheitsrate koronarer Bypassgefäße nachweisen (siehe Tabelle 10).

4.8. Offenheitsrate der Bypassgefäße in Abhängigkeit der medikamentösen Vorbehandlung

Eine Analyse der medikamentösen Therapie ergab keine eindeutige Einflussnahme auf die Offenheit koronarer Bypassgefäße, wie aus Tabelle11 ersichtlich ist.

%	alle Bypass- gefäße	venöse Bypässe	arterielle Bypässe
Gesamtkollektiv	76,9	70,5	87,9
CSE-Hemmer	75,7	69,7	86,4
Beta- Blocker	75,3	70,8	83,7
ACE- Hemmer	75,9	69	88,4
Thrombozytenaggregations- hemmer (ASS+ Clopidogrel)	74,4	67,6	86,4
Clopidogrel	71,4	65,2	100

Tabelle 11: Offenheit in Abhängigkeit der medikamentösen Vorbehandlung

Lediglich bei der Aufspaltung der Thrombozytenaggregationshemmer in Acetylsalicylsäure und Clopidogrel zeigt sich ein Vorteil von Clopidogrel in Bezug auf die Offenheit der arteriellen Bypassgefäße

4.9. Analyse der Patienten mit verschlossenen Bypassgefäßen

39 Patienten wiesen in der CTA Untersuchung verschlossene Bypassgefäße auf. Zum Vergleich sind die Werte des Gesamtkollektives in Doppelklammern angeführt. Das Durchschnittsalter dieser Gruppe lag bei 69 ((66)) Jahren (± 9), die

Bypassgefäße waren im Mittel 7,27 ((5,56)) Jahre ($\pm 5,32$) alt. Es wurden durchschnittlich 3,44 ((3,08)) Bypassgefäße ($\pm 0,94$) angehängt. 33,3% ((24,3%)) der Patienten klagten über uncharakteristische Beschwerden. Hinsichtlich der Risikofaktoren ergaben sich keine deutlichen Unterschiede. Die fragliche Patientengruppe war medikamentös nicht unterversorgt. Tendenziell wurden im Rahmen der klassischen Therapie der koronaren Herzerkrankung Thrombozytenaggregationshemmer, Beta-Blocker, ACE-Hemmer und CSE Hemmer sogar häufiger verschrieben. Der Kalkscore lag mit 1863 (± 1524) gering über dem Gesamtkollektiv ((1763 \pm 1487)). Bis auf das Bypassalter konnten somit keine auffälligen Patientendaten gefunden werden, die prognostisch auf einen verstärkten Verschluss von Bypassgefäßen hinweisen.

Wie im Kapitel „4.4. Offenheit der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Operationszeitpunkt“ angeführt, zeigten die Patienten, die sich 13 – 16 Jahre nach ihrer Bypassoperation mittels der CT Angiographie untersuchen ließen, deutlich höhere Offenheitsraten als erwartet. Eine Analyse der demographischen Patientendaten zeigt folgendes Bild: Lediglich 5 Patienten dieser Gruppe hatten insgesamt 20 Bypassgefäße. Das Durchschnittsalter lag bei 63 Jahren (± 10). Die Bypassgefäße waren im Mittel, wie bei dieser Ausgangslage zu erwarten war, 14,6 Jahre ($\pm 1,39$) alt. In der Regel wurde eine 4-fache Bypass-Operation durchgeführt ($\pm 0,71$). 2 mal gaben die Untersuchten in der Anamnese uncharakteristische Beschwerden an. Bei einem Patienten konnten verschlossene Bypassgefäße diagnostiziert werden. Kontrollangiographiert wurde Keiner aus dieser Gruppe, die verschlossenen (Venen-) Bypassgefäße des einen genannten Patienten waren bereits aus einer vorausgegangenen Koronarangiographie bekannt.

Bezüglich der Risikokonstellation (die Daten des Gesamtkollektives in Klammern) waren 20% (7,8%) der Patienten noch aktive Raucher, 40% (52,4%) hatten ihren Nikotinkonsum aufgegeben, 60% (65%) litten an arterieller Hypertonie, 60% (70,9%) an Hyperlipidämie, 20% (25,2%) an manifestem Diabetes mellitus und 20% (43,7%) hatten eine positive Familienanamnese. Bezüglich der medikamentösen Therapie waren 60% (82,5%) mit Acetylsalicylsäure, 40% (6,8%) mit Clopidogrel, 60% (79,6%) mit Beta-Blockern, 40% (63,1%) mit ACE-Hemmern und 100% (90,3%) mit

Statinpräparaten vorbehandelt. Somit zeigt sich in erster Linie ein besseres Abschneiden dieser Gruppe im Vergleich zum Gesamtkollektiv in Hinblick auf Hyperlipidämie, familiäre Belastung, Clopidogrel und Statinen. Auffallend ist, dass alle Patienten mit Statinen behandelt waren, obwohl nur 60% in der Anamnese eine Hyperlipidämie angaben. Dies spricht am ehesten für eine gute ärztliche Nachbetreuung und gute Patientencompliance. Eine Untersuchung aller Statin behandelten Patienten im Vergleich zum Gesamtkollektiv erbrachte aber keinen Vorteil bezüglich der Offenheitsrate (75,7% Offenheit aller Gefäße, 69,7% venöse Gefäße, 86,4% arterielle Gefäße). Der Gesamtscore der Koronarkalkmessung betrug 2185 (\pm 677) (1763 im Gesamtkollektiv).

In der hier beobachteten Gruppe wurden 85% venöse und 15% arterielle (2 LIMA-Gefäße und 1 RIMA Gefäß) Bypassgefäße eingesetzt.

Insgesamt waren 80% der Gefäße offen, 20% verschlossen, die venösen Bypassgefäße waren zu 76,5% offen und 23,5% verschlossen, die arteriellen Conduits waren allesamt offen.

4.10. Invasive Kontrollangiographie

25 der 103 Patienten (24,3%) wurden mittels konventioneller Linksherzkatheteruntersuchung kontrollangiographiert. Das Durchschnittsalter der angiographierten Personen betrug 72 Jahre (± 9), die Bypassgefäße waren im Mittel 7,97 Jahre ($\pm 5,8$) alt. 7 Patienten klagten über uncharakteristische Beschwerden, bei 20 Patienten waren in der CT-Angiographie Bypassverschlüsse oder -stenosierungen festgestellt worden. 5 Patienten waren im Verlauf anhand der Beschwerdesymptomatik invasiv kontrollangiographiert worden, ohne dass Bypassverschlüsse oder -stenosierungen in der CTA dokumentiert wurden.

Somit konnten insgesamt 78 Bypassgefäße kontrollangiographiert werden. Davon waren 70,5% venöse und 29,5% arterielle Bypassgefäße. Die 23 arteriellen Bypassgefäße teilten sich in 20 LIMA- und 3 RIMA Gefäße auf. Arteria radialis Bypassgefäße waren nicht in der Kontrollgruppe enthalten. In der CTA-Untersuchung stellten sich diese 78 kontrolluntersuchten Bypassgefäße wie folgt dar:

42 Bypassgefäße (53,8%) waren offen, 34 (43,6%) verschlossen, 1 (1,3%) stenosierte und 1 (1,3%) nicht sicher darstellbar.

CTA- Ergebnisse der invasiv kontrollierten Patienten						
	Bypass- gefäße	venöse Bypässe	arterielle Bypässe	LIMA	RIMA	Arteria radialis
Gesamt	78	55	23	20	3	0
offen	42	24	18	16	2	0
verschlossen	34	29	5	4	1	0
stenosiert	1	1	0	0	0	0
nicht sicher darzustellen	1	1	0	0	0	0

Tabelle 12: CTA- Ergebnisse der invasiv kontrollierten Patienten

Die 55 venösen Bypassgefäße waren in 24 Fällen (43,7%) offen, in 29 Fällen (52,7%) verschlossen, in 1 Fall (1,8%) stenosiert und in 1 Fall (1,8%) nicht sicher darstellbar. Von den arteriellen Bypassgefäßen wurden 18 der 23 Gefäße (78,3%) als offen und 5 (21,7%) als verschlossen eingestuft. Bei der weiteren Einteilung in LIMA- und RIMA-Gefäße, fand man 16 der 20 LIMA-Gefäße (80%) offen und 4 (20%) verschlossen. Die 3 RIMA-Bypassgefäße waren 2 mal (66,7%) offen und 1 mal (33,3%) verschlossen.

Mittels invasiver Linksherzkatheteruntersuchung inklusiver Bypassangiographie konnten bei 23 der 25 Patienten der Befund der CTA-Untersuchung voll bestätigt werden. Es wurden somit 75 der 78 Bypassgefäße (96,1%) richtig erkannt.

LHK Ergebnisse der invasiv kontrollierten Patienten						
	Bypass- gefäße	venöse Bypässe	arterielle Bypässe	LIMA	RIMA	Arteria radialis
Gesamt	78	55	23	20	3	0
offen	45	27	18	16	2	0
verschlossen	32	27	5	4	1	0
stenosiert	1	1	0	0	0	0
nicht sicher darzustellen	0	0	0	0	0	0

Tabelle 13: LHK Ergebnisse der invasiv kontrollierten Patienten

Die Fälle mit falsch diagnostizierter CTA Untersuchung sind hier gesondert aufgeführt:

Im ersten Fall wurde 6,6 Jahre vor der CTA-Untersuchung eine 3-fach Bypass Operation mit LIMA-Bypass zur LAD und jeweils 2 Single Venenbypassgefäßen zum RCX und Ramus marginalis des RCX durchgeführt. Der Arterienbypass war offen, die Venenbypassgefäße wurden als verschlossen angesehen, da keine Kontrastmittelanfärbung ins RCX Gebiet nachgewiesen werden konnte. Die Bildqualität wurde jedoch als schlecht bewertet, auch retrospektiv ließen sich bei erneuter Befundung der Bilder keine Anzeichen von intakten Venenbypassgefäßen erkennen. Die Kontrollangiographie bestätigte das offene LIMA Gefäß, jedoch konnten auch beide Venen-Bypassgefäße als unauffällig offen dokumentiert werden.

Im zweiten Fall handelt es sich um einen nicht sicher darzustellenden Venenbypass. Ihm liegt eine 21 Jahre alte 4-fach Bypass Operation zugrunde, wobei 4 Single Venenbypassgefäße zur LAD, zum Ramus diagonalis 1, zum RCX und zur RCA angelegt wurden. Die Bypassgefäße zur LAD und Ramus diagonalis waren offen, der zum RCX bei nachweisbarem Bypasstummel aus der Aorta ascendens verschlossen. Der Venenbypass zur RCA war bis medial offen, distal jedoch nicht mehr sicher zu beurteilen, er wurde aber als offen vermutet. Die invasive Bypassangiographie bestätigte diese Vermutung.

In dieser invasiv kontrollierten Gruppe zeigte sich auch ein Venenbypass, der zur RCA angelegt war, welcher in der CTA Untersuchung hochproximal als hochgradig

stenosiert dargestellt werden konnte. Die Kontrollangiographie bestätigte die hochproximale, sehr kurzstreckige 90% Stenose.

Die Sensitivität für die Erkennung von Bypassverschlüssen liegt anhand der zugrundeliegenden Untersuchungsergebnisse bei 100% bei einer Spezifität von 95,7%. Der positive Vorhersagewert (PV) beträgt 94,1%, der negative Vorhersagewert (NV) 100%.

Dies bedeutet, dass ein tatsächlich verschlossenes Bypassgefäß in der CTA zu 100% erkannt wird. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein nicht verschlossenes Bypassgefäß auch in der CTA als nicht verschlossen gesehen wird, liegt bei 95,7%.

Der positive Vorhersagewert besagt, dass ein Verschluss in der CTA Untersuchung zu 94,1% auch tatsächlich ein Verschluss des Bypassgefäßes war. Der negative Vorhersagewert besagt, dass alle in der CTA als nicht verschlossen dokumentierte Gefäße tatsächlich nicht verschlossen waren.

Somit konnte jeder tatsächlich verschlossene Bypass auch in der CTA als verschlossen erkannt werden und kein in der CTA als offen gesehenes Bypassgefäß war tatsächlich verschlossen.

alle Bypassgefäße		invasive Bypassangiographie		
		Verschluss	kein Verschluss	Summe
CTA	Verschluss	32	2	34
	kein Verschluss	0	44	44
	Summe	32	46	78

Sensitivität	100,0
Spezifität	95,7
positiver Vorhersagewert	94,1
negativer Vorhersagewert	100,0

Tabelle 14: Vier- Feldertafel aller invasiv angiographierten Bypassgefäße

Für die Erkennung von Verschlüssen venöser Bypassgefäße ergaben sich eine Sensitivität von 100%, eine Spezifität von 92,9%, ein PV von 93,1% und ein NV von 100%.

venöse Bypassgefäße		invasive Bypassangiographie		
		Verschluss	kein Verschluss	Summe
CTA	Verschluss	27	2	29
	kein Verschluss	0	26	26
	Summe	27	28	55

Sensitivität	100,0
Spezifität	92,9
positiver Vorhersagewert	93,1
negativer Vorhersagewert	100,0

Tabelle 15: Vier- Feldertafel der invasiv angiographierten venösen Bypassgefäße

Bei den arteriellen Bypassgefäßen lagen die entsprechende Sensitivität bei 100%, die Spezifität bei 100%, der PV bei 100% und der NV bei 100%.

arterielle Bypassgefäße		invasive Bypassangiographie		
		Verschluss	kein Verschluss	Summe
CTA	Verschluss	5	0	5
	kein Verschluss	0	18	18
	Summe	5	18	23

Sensitivität	100,0
Spezifität	100,0
positiver Vorhersagewert	100,0
negativer Vorhersagewert	100,0

Tabelle 16: Vier- Feldertafel der invasiv angiographierten arteriellen Bypassgefäße

Da lediglich ein Venenbypass stenosiert war, ist die Ausweisung der Sensitivität und Spezifität für die Erkennung von Bypassstenosierungen nicht sinnvoll.

4.11. Nachbeobachtung:

Von den 103 untersuchten Patienten konnten 12 nicht persönlich erreicht werden, 8 davon stellten sich aber inzwischen beim betreuenden Kollegen zur Nachuntersuchung vor, über welchen weitere Informationen erhältlich waren. Somit war die Nachbetreuung bei 99 Patienten (96%) möglich.

2 Patienten wurden inzwischen invasiv koronarangiographiert. In beiden Fällen beruhte dies jedoch noch auf die Empfehlung, die sich aus dem Ergebnis der CTA-Untersuchung ergab. Die Ergebnisse gingen in die Auswertung dieser Arbeit ein. Kein Patient war zwischenzeitlich wegen kardialer Beschwerden stationär behandelt worden, somit erlitt auch keiner der Patienten einen nachgewiesenen Reinfarkt. Die

Personen, denen keine weitere invasive Diagnostik empfohlen wurde, hatten in der Zwischenzeit keine erneute koronare Intervention oder Reoperation.

Auf Befragen nach dem subjektiven Wohlbefinden gab kein Befragter zunehmende kardiale Beschwerden an. Die meisten Patienten bestätigten ihre Beschwerdefreiheit; diejenigen, die vorher an Abgeschlagenheit und Belastungsdyspnoe litten, beschrieben ihren Zustand weiterhin in gleicher Intensität.

Interessant war die spontane Bemerkung vieler Befragten, dass sie sich durch das Ergebnis der CTA-Untersuchung, insbesondere bei unauffälligem Befund, sicherer und damit auch stärker belastbar fühlten.

5. Diskussion

Es ist bekannt, dass bypassoperierte Patienten, vor allem solche mit koronarer Mehrgefäßerkrankung, den Verschluss eines der Bypassgefäße nicht bemerken. Beschwerden bekommen die Patienten häufig erst dann, wenn mehrere Bypassgefäße verschlossen oder stenosiert sind und dadurch die bestehende Kollateralisierung nicht mehr ausreicht. In einem solchen Fall besteht jedoch die Gefahr ausgeprägter und bedrohlicher Perfusionsstörungen. Dies ist die Grundlage für das Konzept, bei asymptomatischen Patienten eine frühzeitige Überprüfung der Bypassoffenheit zu empfehlen. Bei einem Bypassverschluss muss dann die Notwendigkeit einer Intervention am Bypassgefäß selbst oder am überbrückten Nativgefäß überprüft werden. Dies erlaubt die nicht-invasive Bypassangiographie mit der MSCT.

5.1. Entwicklung und Grundlagen der Computertomographie

Die Computertomographie wurde 1972 von dem amerikanischen Physiker A.M. CORMACK und dem britischen Ingenieur G.N. HOUNSFIELD entwickelt, die dafür 1979 den Nobelpreis für Medizin erhielten. Sie erwies sich innerhalb weniger Jahre als äußerst wertvolles diagnostisches Verfahren der Radiologie. Die Geräte erfuhren in den folgenden zwei Jahrzehnten eine rasche technische Verbesserung, vor allem was ihre Bildqualität und die Aufnahmezeit betraf; letztere betrug anfänglich noch über fünf Minuten pro Schichtaufnahme, während sie bei Geräten der neuesten Generation unter 500 Millisekunden pro mehreren Schichten liegt.

Das Prinzip der Computertomographie besteht darin, dass aus einer Röntgenröhre ein Fächerstrahl ausgesandt wird, der eine dünne axiale Schicht des Patienten durchsetzt. Genau gegenüber der Röntgenröhre befindet sich ein Detektorensystem, welches ein durch das Untersuchungsobjekt geschwächtes Signal empfängt, dieses elektronisch aufbereitet und einem Computer zur Auswertung weiterleitet. Im Anschluss daran dreht sich sukzessive die Röntgenröhre samt den gegenüberliegenden Detektoren um den Patienten weiter. Auf diese Weise werden verschiedene Projektionen derselben Schicht erzeugt und im Computer zu einem

Graustufen-Bild umgerechnet. In transaxialer Ausrichtung wird dann in der nächsten Ebene erneut eine Schicht rekonstruiert.

Die erste Generation der Computertomographen funktionierte einfacher: Zunächst gab es nur eine einzige Röntgenröhre und einen Detektor, die sich auf beiden Seiten des Patienten gegenüberstanden. Nach einer Messung rotierte das gesamte System jeweils um ein Grad, bis eine Datenprojektion von 180 Grad erreicht war⁹³. Die Untersuchungen dauerten mehrere Minuten, weshalb zunächst nur bewegungsunabhängige Organe in Frage kamen.

Die zweite Generation der Tomographen erhielt dann mehrere Röntgenröhren-Detektor Systeme, sodass gleichzeitig mehrere Projektionen erfasst werden konnten. Erst in der dritten Entwicklungsstufe wurde der oben angeführte Fächerstrahl eingeführt, dem sich gegenüberliegend ein Ring von Detektoren befand. Die Strahlenquelle war jetzt das einzige bewegliche Teil. Es wurden Scanzeiten von wenigen Sekunden pro Schicht erreicht, womit die Computertomographie Einzug in die radiologische Alltagsdiagnostik hielt.

Eine Sonderentwicklung stellen die sogenannten Elektronenstrahl Scanner (EBCT) dar. Sie besitzen keine beweglichen Teile mehr. In einer Kathode werden Elektronen auf annähernd Lichtgeschwindigkeit beschleunigt und elektronisch auf einen aus 4 Anoden bestehenden 210 Grad Ring um den Patienten abgelenkt.¹¹⁴ Indem der Elektronenstrahl längs der ringförmig angebrachten Aufprallplatte (Target) aus Wolfram schwenkt, erzeugt er einen kreisenden Fokus aus Röntgenstrahlen.⁹³ Fest gegenüber der Wolframplatte installierte Detektoren können eine Schicht innerhalb von circa 100 ms aufnehmen. Diese kurze Aufnahmezeit bleibt auch für die modernen ultraschnellen Computertomographen unerreicht, jedoch wird die Bildqualität durch eine Schichtdicke von 3 mm wieder geschmälert.

Ende der 80er Jahre hat sich die Computertomographie mit der Einführung des sogenannten Spiral-Computertomogramms von einer zwei- zu einer dreidimensionalen Abtastung des menschlichen Körpers weiterentwickelt. Beim Spiral-CT bewegt sich die Röntgenröhre kontinuierlich um den Patienten, gleichzeitig fährt der Patiententisch mit konstanter Geschwindigkeit durch das Messfeld, so dass der Verlauf des Röntgenstrahlbündels eine spiralförmige Abtastung des Patienten ausführt. Durch das Spiral-CT wird nun ein dreidimensionaler Datensatz erzeugt. Da

es keine Verzögerung zwischen den einzelnen Schichten mehr gibt, können größere Volumina aufgezeichnet werden.

Durch schnellere Rotationszeiten unter einer Sekunde, leistungsfähigere Detektorensysteme, die erst die elektronische Aufbereitung der schnellen Signalübermittlung ermöglichen, sowie durch dünnere Schichten wurden laufend weitere Verbesserungen der Bildqualität erreicht.

Ende der 90'er Jahre wurde die Mehrschicht (Multi-Slice, Multi-Row) Computertomographie eingeführt. Sie stellt die bisher neueste Weiterentwicklung der Spiral-Computertomographie dar und verwendet statt des zweidimensionalen Fächerstrahls einen dreidimensionalen Konusstrahl. Durch die somit ermöglichte gleichzeitige Akquisition von mehreren Schichten pro Rotation (anfangs 4, heute schon bis zu 64 Schichten) können Rekonstruktionen mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung erstellt werden. Gleichzeitig verringert sich die Gesamtaufnahmezeit, sodass innerhalb einer Atemphase im Beispiel des Cardio CT das gesamte Herz untersucht werden kann.

Zur Realisierung dieser Technik benötigt man wiederum völlig neue Detektorensysteme. Das Multislice-CT-Detektorsystem ist nicht nur in der Rotationsebene (X-Achse, Y-Achse), sondern auch in der Patientenlängsachse (Z - Achse) in einzelne, meist asymmetrisch aufgebaute Detektorelemente unterteilt. Als Kollimation bezeichnet man die gewünschte Breite der Detektorschicht. Die effektive Schichtdicke, die im Fächerstrahl eingestellt wird, ist im Spiralmodus gering breiter, da zur kompletten Abtastung eine bestimmte Überlappung angestrebt wird (Inkrement). Je nach gewünschter kollimierter Schichtdicke werden unterschiedlich viele einzelne Detektorelemente elektronisch zusammengefasst. Durch neue Antriebstechniken wie den Direktantrieb werden bereits Rotationszeiten deutlich unter 500 ms erreicht.

Der Mehrschicht Computertomograph kann im Vergleich zu den herkömmlichen Spiral Computertomographen das gleiche Volumen bei gleichbleibender Schichtdicke in wesentlich kürzerer Zeit untersuchen oder das gleiche Volumen in vergleichbarer Zeit mit dünneren Schichten abtasten.

Darüber hinaus gewinnt die Multislice Computertomographie Datensätze mit einer sogenannten „isotropen Voxelgeometrie“, was bedeutet, dass die Bildelemente, aus

denen das CT-Bild zusammengesetzt ist, in allen drei Dimensionen (X, Y und Z-Achse) die gleiche Kantenlänge aufweisen. Damit war es der Computertomographie erstmals möglich, anstatt der rein axialen Schichten auch dreidimensionale Rekonstruktionen in allen Ebenen abzuleiten, was vorher allein dem MRT vorbehalten war.

Das Interesse am Multislice CT spiegelt sich an der raschen Ausbreitung wider. So waren im Juni 1999 weltweit erst etwa 10 Systeme, ein Jahr später, im Juni 2000, bereits etwa 650 Scanner installiert.

5.2. Entwicklung der Koronarangiographie

Der französische Physiologe Claude BERNARD hat bereits 1844 den Begriff „Herzkatheter“ gebraucht. Er benutzte einen Katheter, um den Druck und die Temperatur im Herzen von Tieren zu messen. Zunächst führte er ein langes Glasthermometer in den Ventrikel eines Pferdes ein, um die Temperatur innerhalb des Ventrikels zu messen. 1847 schob er einen aus Glas bestehenden „Druckschreiber“ in die rechte Herzkammer vor und bekam so die erste aufgezeichnete Druckkurve im Herzen eines Pferdes.⁵⁶

Werner FORSSMANN hat in einem heroischen Selbstversuch in Eberswalde bei Berlin als Erster eine Herzkatheteruntersuchung bei einem Menschen durchgeführt.⁴⁸ Über seine linke Cubitalvene führte er vor einem Fluoroskope Bildschirm einen Katheter zum rechten Vorhof. Anschließend begab er sich zu Fuß in die radiologische Abteilung, um die Lage des Katheters durch ein Röntgenbild zu dokumentieren. Das eigentliche Ziel war nicht die Darstellung des Herzens, vielmehr wollte er einen neuen Weg erforschen, in Notsituationen wie im kardialen Schock, bei Anästhesie-Zwischenfällen oder bei Vergiftungen Medikamente direkt am Herzen zu verabreichen. Bis dahin war in solchen Situationen die intrakardiale Injektion gebräuchlich. Wegen drohender schwerer Komplikationen kam diese Maßnahme oft erst in letzter Sekunde oder nie zur Anwendung.

In der Folgezeit wurde die Rechtsherzkatheteruntersuchung inklusive der Passage des rechten Ventrikels zum Beispiel 1930 durch KLEIN oder 1932 durch PADILLO durchgeführt, um unter Zuhilfenahme des Fick'schen Prinzips Aufschluss über die

kardiale Pumpfunktion zu erhalten.⁵⁶ DEXTER brachte erstmals 1947 einen Katheter in die Pulmonalarterien vor und untersuchte somit die Sauerstoffsättigung in dieser Position. Zudem beschrieb er die „Wedge Position“ und den dort abgeleiteten pulmonal-kapillaren Wedge Druck (PCWP) zur Abschätzung des linksventrikulären enddiastolschen Drucks und somit der linksventrikulären Vorlast.⁵⁶

In den 40er Jahren begannen die ersten Untersuchungen zur Darstellung der Koronararterien. Als Namen werden RADNER (1945), JÖNSSON (1948), HOYOS et al. (1948) HELMSWORTH et al. (1950,1951) genannt. Hierbei handelte es sich um eine nicht-selektive Darstellung der Koronararterien durch Kontrastmittelinjektion in die Aorta ascendens auf Höhe der Koronarostien.⁵⁶ Durch Bradykardisierung und Überdruckbeatmung versuchte man eine möglichst intensive Kontrastmittelanfärbung der Koronarien zu erreichen. Häufig kam es zu Überlagerung mit dem Bulbus aortae. Bis dahin erfolgte der invasive Katheterzugang über eine Arterien- oder Venen-Freilegung.

1953 wurde die perkutane Punktionstechnik durch SELDINGER entwickelt¹⁰⁶. Der Durchbruch zur selektiven Koronarangiographie gelang 1959 Mason SONES und Earl SHIREY.¹¹¹ Und wieder war es ein Zufall, der diese Entdeckung ermöglichte. SONES, damals noch Kinderkardiologe, passierte ein damals kaum vermeidbares Missgeschick: während einer Injektion von Kontrastmittel in die Aorta ascendens eines Kindes zur Darstellung der Aortenklappe glitt der Katheter in die rechte Kranzarterie, wodurch das gesamte Gefäß mit Kontrastmittel gefüllt wurde. Da zu dieser Zeit noch keine Bildverstärker, sondern nur Blattfilmwechsler zur Verfügung standen, wurde dieser Nebenbefund erst nach Entwicklung der einzelnen Bilder erkannt. Glücklicherweise und zur großen Überraschung kam es weder während der Untersuchung noch danach zu Komplikationen oder Schäden. SONES erkannte sogleich die Bedeutung der sich bietenden Möglichkeiten. Jedenfalls wurde dadurch das Ende der nicht selektiven, supraaortalen Koronarangiographie eingeleitet.¹¹²

Die Entwicklung der Kathetertechnik verlief parallel zur Entwicklung der Röntgentechnik. Aufnahmen im Großbildformat und mittels Blattfilmwechsler und die fehlende visuelle Beobachtung während der Katheterisierung und der Kontrastmittelinjektion limitierten jedoch die Aussagekraft der Untersuchungen. Durch die Einführung der

Röntgenbildverstärker und der Röntgenkinematographie konnten deutliche Qualitätsverbesserungen erzielt werden.⁸³

Zu Beginn der Untersuchungen bei SONES lagen die Patienten in einer Wanne, welche in die entsprechenden LAO und RAO Projektionen gedreht werden konnten. Zusammen mit der Firma Philips wurde bald der C-Bogen entwickelt, der dieses umständliche Vorgehen überflüssig machte.⁸² Die von SONES angewandte Technik wurde mittels perkutaner Punktion 1962 durch RICKETTS und ABRAMS, vor allem aber 1967 durch Melvin JUDKINS verbessert. Letzterer führte die transfemorale Punktion ein, zudem vereinfachte er die Katheterführung und Koronarintubation durch bestimmte vorgeformte Katheter wesentlich.⁷⁰ Für SONES war somit die Koronarangiographie zu einfach geworden, da sie von nun an seiner Meinung nach allen Ärzten, sogar den Nichtkardiologen zugänglich war.⁸²

Die primäre Aufgabe der Koronarangiographie war in dieser Zeit vor allem die Diagnostik der koronaren Herzerkrankung sowie die Objektivierung und Nachsorge der Ergebnisse der noch jungen Bypass-Chirurgie.⁴²

5.2.1 Entwicklung der interventionellen Koronarangioplastie (PTCA, PCI)

Eine revolutionäre Entwicklung erhielt die Koronarangiographie 1977 durch die Ballondilatation, die perkutane transluminäre Koronar Angioplastie (PTCA) durch Andreas GRÜNTZIG.⁵⁷ Die invasive Kardiologie wurde somit für die Bypass-Chirurgie ein ernst zu nehmender Konkurrent. Während 1979 noch 94 Prozent der zu behandelnden Koronarpatienten einer Bypassoperation zugeführt wurden (4.167 Bypassoperationen gegenüber 250 PTCA), waren es 2003 nur noch 39,8% (147.477 Operationen gegenüber 222.668 PTCA)²⁴.

Seit den 90er Jahren erfährt die Angioplastie zahlreiche Modifikationen wie Stentimplantation, Rotablation, Atherektomie, Laserverfahren, Brachytherapie, adjuvante Thrombozytenaggregationshemmung verschiedenster Art (Acetylsalicylsäure, Ticlopidin, Clopidogrel, Glycoprotein IIb/IIIa Antagonisten) oder zuletzt durch speziell beschichtete Stents (zum Beispiel mit Paclitaxen, Tacrolimus, Sirolimus, Everolimus, QP2, Batimastat, Actinomycin D, Dexamethason, Mycophenolsäure), welche die reaktive, Stent induzierte Endothelproliferation vermeiden helfen sollen.

Im Jahre 2003 wurden in Deutschland an 535 Kathetermessplätzen insgesamt 655.512 Linksherzkatheteruntersuchungen und 222.668 Angioplastien (PTCA) durchgeführt.²⁴ 1979 waren es nur 28.561 Untersuchungen und 250 Angioplastien.²⁴ Diese Zahlen spiegeln die enorme Leistungsentfaltung in der Diagnostik und Therapie der koronaren Herzerkrankung wider; zudem zeigen sie die zunehmende Bedeutung des Krankheitsbildes der koronaren Herzerkrankung in Deutschland und den westlichen Industrieländern.

5.2.2. Mögliche Komplikationen der invasiven Koronarangiographie

Anhand der 3. Register-Statistik der „Society of Angiography“ von 1990 betrug die Mortalität nach diagnostischer Linksherzkatheteruntersuchung 0,08%.³ Nach einer 1997 von DEVLIN veröffentlichte Statistik⁶² wurden 2/3 der Todesfälle durch eine Dissektion des linken Hauptstammes mittels des Katheters verursacht. Die Gefahr eines durch die invasive Diagnostik bedingten akuten Myokardinfarktes betrug 0,05%, vaskuläre Komplikationen wie Aneurysma, Hämatom oder AV Fistel betragen 0,5%. Zudem ist eine über Monate anhaltende Läsion des Nervus medianus oder Nervus femoralis zu bedenken - allgemein jedoch sehr seltene Ereignisse⁶².

Im Jahresbericht des Bundesverbandes Niedergelassener Kardiologen (BNK)¹⁰⁹ zeigte sich 1998 bei 28505 diagnostischen Linksherzkatheteruntersuchungen folgende Komplikationsstatistik: Mortalität 0,04%, Herzinfarkt 0,04%, Zerebraler Insult 0,02%, Arterio-venöse Fistel 0,13%, Nachblutung 0,11%, peripherer arterieller Verschluss 0,04% und notwendige chirurgische periphere Revision 0,05%.

Die Angaben bei einer Koronarintervention lagen jeweils höher, die Häufigkeit akuter arterieller Koronarverschlüsse und die der notfallmäßigen Bypassoperationen bei 2% bzw. 0,4%, die Mortalität bei 0,1%. Mit dem heute gängigen medikamentösen Standard Verfahren nach Stentimplantation mit dualer Thrombozytenaggregationshemmung mittels ASS und Clopidogrel liegen die Komplikationsraten für schwere lokale Blutungen bezüglich des femoralen Zugangs immer noch bei 2,5%, wobei sich die Angaben der einzelnen Untersuchungen bezüglich der Definition für schwere und leichte Blutungen unterscheiden.^{36,78,103,113}

5.3. Entwicklung der koronaren Bypasschirurgie

1967 hat Dr. Rene FAVALORO in Cleveland die erste koronare Bypass Operation durchgeführt.⁴² Seitdem hat deren Anzahl stetig zugenommen. Während 1980 in Deutschland nur einige tausend Bypassoperationen stattfanden und die Wartezeiten dafür noch Monate betragen, waren es 2003 bereits 147.477 koronare Bypass-Operationen, davon 94.712 mit und 52.765 ohne Einsatz einer Herzlungenmaschine.²⁴ Im Vergleich zum Vorjahr 2002 haben die Bypassoperationen insgesamt um 194 abgenommen, die Eingriffe ohne Herzlungenmaschine jedoch um 4.119 zugenommen. Nachdem inzwischen die Zahl der Herzchirurgischen Zentren in Deutschland auf 78 angewachsen und die Bypassoperation zu einer herzchirurgischen Routineoperation geworden ist, kann in dringenden Fällen ein Patient meist innerhalb eines Tages operiert werden; elektiv liegt die Wartezeit bis zur stationären Aufnahme derzeit bei circa 2 - 10 Tagen.

5.3.1. Degenerative Veränderungen in Bypassgefäßen

Die Degeneration venöser Bypassgefäße verläuft in drei Stufen: Durch Endothelschädigung entstehen murale Thromben, eine Intima Fibrosplasie und letztendlich eine Venengraftsklerose mit Wandversteifung. Stenosen oder Verschlüsse sind die Folge.⁶³

Mehrere Faktoren sollen für den Verschluss venöser Bypassgefäße verantwortlich sein. Der Hauptgrund liegt in Traumatisierung während der Operation, wobei der Venenwand zunächst die Blutzufuhr unterbunden und das Venensystem anschließend dem arteriellen Druckkreislauf unterstellt wird. Es kommt zur unvermeidlichen Ischämie und Reperfusionverletzung²¹. Eine direkte Traumatisierung des Gefäßes führt zu einem strukturellen und biochemischen Endothelschaden, der für das Anheften von Thrombozyten und Fibrin verantwortlich ist. Somit ist der Weg einer frühen Bypass thrombose geebnet. Endotheliale Dysfunktion und abnehmende Gefäßreaktivität ziehen eine weitere Schädigung des Bypassgefäßes nach sich und haben mittel- und langfristig neben Zellproliferation und weiterführender Arteriosklerose Einfluss auf Perfusionsfluss und Offenheit.

Zur Vorbeugung von Bypassgefäßverengungen ist eine vorsichtige chirurgische Präparation der Gefäße unter niedrigen Temperaturen selbstverständlich. Thrombozytenaggregationshemmer haben ihren Nutzen bewiesen. Bei Gabe von 325mg Acetylsalicylsäure konnte die frühe Verschlussrate 10 Tage postoperativ von 15% auf 6-8% verringert werden.⁵⁴ Ist die frühe postoperative Phase überstanden, hat der Einfluss von Acetylsalicylsäure im beschriebenen Beobachtungszeitraum von 1 – 2 Jahren keinen positiven Effekt auf die Offenheit venöser Bypassgefäße mehr⁵⁴. Der präventive Nutzen der Acetylsalicylsäure für die arteriosklerotischen Nativgefäße ist hinlänglich bewiesen⁶⁶. Ein weiterer Einfluss auf die Offenheitsrate koronarer Bypassgefäße wird teilweise für die lipidsenkende Therapie mittels Statinpräparaten¹¹ beschrieben, in dieser Datenerhebung konnte kein eindeutiger Vorteil nachgewiesen werden.

5.3.2. Reoperation

Die in den Venengrafts fortschreitenden Veränderungen bedingen, dass nach ca. 12 Jahren über 17% der Patienten reoperiert werden.^{35,85} Dabei ist interessant, dass nur in etwa 15% der Fälle eine Progression der Nativgefäße der Grund für eine erneute Operation war. In 85% der Fälle waren es Bypassverschlüsse oder Stenosierungen, die zum chirurgischen Verfahren führten.

DION berichtet bei 500 über 10 Jahre beobachteten Bypass-Patienten, dass in 0,8% der Fälle reoperiert und in 2,3% der Fälle die Bypassgefäße angioplastiert werden mussten.⁴⁰ In einer anderen Untersuchung¹³ über maximal 12 Jahre mussten im Mittel nach 6,3 Jahren 3,5% der 1000 Patienten reoperiert oder angioplastiert werden; pro Jahr stieg hier das Risiko einer Re-Intervention um 0,85%.

Höhere Reoperationsraten zeigt eine große Untersuchung von COSGROVE et al., die von 1972 – 1978 1000 Patienten evaluierten. Nach 5 Jahren wurden 2,7% , nach 10 Jahren 11,4% und nach 12 Jahren bereits 17,3% der Patienten erneut operiert.³⁵ Weiter wurden die Risikofaktoren für eine Reoperation untersucht. Neben dem Gefäßalter bestand das größte Risiko dann, wenn keine Arteria Mammaria verwendet wurde. Weitere Prädiktoren waren inkomplette Revaskularisierung, schwere Herzinsuffizienz NYHA Klasse III-IV, schwere Hyperlipidämie, Hypertonie,

Nikotinkonsum und Diabetes. Die höhere Reoperationsrate in der eben angeführten Untersuchung rührt sicherlich unter anderem auch daher, dass im beobachteten Zeitraum die Anzahl der Mammaria Bypassgefäße gering war, was durch das Ergebnis der Studie bestätigt wird.

Reoperationen sind technisch schwieriger, die operativen Ergebnisse sind mitunter unbefriedigend. Eine anzustrebende komplette Revaskularisation wird nur noch in 20 - 50% der Fälle erreicht.⁹⁷ Die Mortalitätsraten nach Zweitoperationen steigen von 2,8% auf 12% an, sie werden von der Schwere der koronaren Herzerkrankung, der linksventrikulären Dysfunktion, dem Patientenalter und dem Zeitintervall zwischen beiden Operationen beeinflusst.²¹

5.3.3. Offenheit von Bypassgefäßen im Allgemeinen

Nach 10 Jahren sind nur noch 60 % der Venenbypassgefäße offen⁶⁸ und nur noch 40% der offenen Bypassgefäße frei von hämodynamisch relevanten Stenosen. Lediglich 20 – 30% der venösen Bypassgefäße zeigen nach 20 Jahren noch eine einwandfreie Perfusion.^{20,29,44,68,92} Die Verschlussrate der Venengrafts beträgt circa 2,1% pro Jahr, steigt jedoch mit zunehmendem Alter des Gefäßes bis auf über 4% pro Jahr an.⁴⁴

Bei Verwendung der linken Arteria Mammaria Interna als Bypassgefäß lassen sich deutlich höhere Offenheitsraten erzielen.^{12,32,43,51,117,119} 2-3 Wochen nach einer Bypassoperation konnten jedoch schon bei 2,9% der LIMA Gefäße und bei 4,6% der RIMA Gefäße angiographisch Verschlüsse festgestellt werden¹¹⁹. DION berichtet bei 500 beobachteten Patienten nach 10 Jahren über eine Offenheit von 96,3% der LIMA Bypassgefäße beziehungsweise von 86,5% bei deren Verwendung als freies Interponat.⁴⁰ LYTLE et al. veröffentlichten 1985 Langzeitdaten zu Venen- und Arterien Bypassgefäßen. Im ersten Studienintervall nach im Mittel 1,25 Jahren (15 Monaten) waren 82% der Venenbypassgefäße offen, 13% waren verschlossen, 5% hochgradig stenosierte. Die als Bypass verwendeten Mammaria Arterien waren zu 97% offen, 1,5% waren verschlossen, 1,5% stenosierte. Im zweiten Studienintervall nach im Mittel 7,3 Jahren (88 Monaten) waren nur 55% der im Studienabschnitt 1 noch unauffälligen Venenbypassgefäße offen; das heißt: es war lediglich ein Rest

von 45% aller implantierten venösen Bypassgefäßen uneingeschränkt durchgängig. Von den ursprünglich implantierten Arterien waren dagegen noch 93% der Gefäße offen.⁸⁶ Untersuchungen über Verwendung beider Mammaria Arterien zeigten nach im Mittel 4,4 Jahren (53 Monaten) eine Offenheit der linken Arteria mammaria von 92,1% und der rechten Arteria mammaria von 84,9%.⁵¹ In einer weiteren Publikation⁴³ findet sich nach 13 Jahren die linke Arteria mammaria zu 82%, die rechte Arteria mammaria zu 85% offen. Manche Autoren fanden heraus, dass die rechte Arteria Mammaria signifikant höhere Verschlussraten aufweist, wenn sie nicht auf die LAD gebypasst wird.^{31,32,39,117} Erklärt wurde dies dadurch, dass das distale Ende von Mammaria Gefäßen einer erhöhten Spasmusneigung unterliegt. Die RIMA hat, wenn sie nicht als freies Interponat eingesetzt wird, einen längeren Verlauf bis zur Anastomose als die LIMA. Es werden daher auch sehr distal gelegene Abschnitte der RIMA noch als Bypassgefäß benutzt. Es sollte also der kürzest mögliche Anschlusspunkt für die RIMA gewählt werden, der somit der proximalen LAD entspricht. Dieses Problem kann teilweise umgangen werden, indem man die RIMA als freies Interponat aus der Aorta ascendens oder als T-Graft verwendet. Christopher ACAR untersuchte die Offenheit von Arteria radialis Conduits bei 910 Patienten. Nach 7 Jahren waren noch 83% der Bypassgefäße offen, in der gleichen Erhebung 91% der LIMA Bypassgefäße.⁴

Des weiteren besteht eine Abhängigkeit der Offenheitsrate zum Stenosegrad der Nativgefäße. Sind insbesondere die arteriellen Bypassgefäße auf Nativgefäße angelegt, die keine hochgradigen Stenosen besitzen, zeigen sie eine signifikant niedrigere Offenheitsrate, im Beispiel der RIMA 65% im Gegenzug zu 91%.¹¹⁷ Während anhand der Datenlage für LIMA und RIMA Stenosen >60% günstig sind, zeigen sich Radialisarterien sensibler; sie haben erst signifikant höhere Offenheiten, wenn die vorgeschaltete Stenose der Nativgefäße >85% ist.¹¹⁷ Die größere Empfindlichkeit der Radialisarterien dürfte durch ihre stärkere muskuläre Wand bedingt sein.¹² Dadurch kommt es bei verminderten Fluss durch das Bypassgefäß zu einem verstärkten „String“-Phänom des Gefäßes.

KAHN et al. verglichen kürzlich Patienten, die unter Zuhilfenahme einer Herz-Lungen Maschine operiert wurden, mit denen, ohne Zuhilfenahme einer Herz-Lungen Maschine.⁷² Die 50 Patienten mit Unterstützungssystem (on-pump) hatten prinzipiell höher Troponin Werte als Zeichen einer perioperativen Myokardschädigung (p=0,02),

nach drei Monaten zeigten die 54 Patienten ohne Herz-Lungen Maschine (off-pump) niedrigere Offenheitsraten (88% im Vergleich zu 98%, $p=0,002$). Auch im Versorgungsgebiet des LAD, das ja aufgrund des guten Zugangsweges als prädestiniert für die off pump Operation gilt, war die Offenheit in dieser Gruppe erniedrigt. Arteria radialis Bypassgefäße schienen in der off-pump Technik als besonders empfindlich für drohende Verschlüsse. Jedoch muss kritisch angemerkt werden, dass die Offenheit in der untersuchten off-pump Gruppe als der Literatur nicht entsprechend und sehr niedrig ausgefallen ist. Eine weitere Untersuchung dieser Fragestellung⁹⁴ fand keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen (93% gegen 91%).

Zwei große Untersuchungen beschäftigten sich mit dem Vergleich der Angioplastie und der Bypassoperation. Die EAST- (Emory Angioplasty versus Surgery Trial) und die BARI- (Bypass Angioplasty Revascularisation Investigation) Studien zeigten bezüglich der Überlebensraten keine Unterschiede zwischen der Bypassoperation (CABG: Coronary Artery Bypass Grafting) und der Angioplastie (PTCA: Perkutane transluminare Koronar-Angioplastie). In der EAST-Studie als Beispiel lag die Überlebensrate nach 8 Jahren bei 82,7% für die Bypassoperation und 79,3% für die Angioplastie; bei $p=0,4$ bestand keine statistische Signifikanz.⁷³ Ähnliche Daten zeigten sich in der BARI-Studie nach 5 Jahren (80,4% gegen 78,7%; $p= 0,84$).² Die Patienten nach Ballondilatation mussten sich aber signifikant öfter einer erneuten Intervention unterziehen. Die Untersuchungen wurden jedoch zum großen Teil vor der Stent Ära durchgeführt.

Während in der BARI-Studie nach 5 Jahren kein Unterschied für erneute Myokardinfarkte zu erkennen war (11,7% für die CABG Gruppe gegen 10,9% der PTCA Gruppe, $p= 0,45$)² zeigte eine im Februar 2003 erschienene Untersuchung³⁴ von jungen Patienten unter 40 Jahren, dass nach mehr als 8 Jahren die Bypassoperierten Patienten signifikant öfter einen erneuten Myokardinfarkt erleiden. Nach 15 Jahren kommt es bei 27% der PTCA-Patienten und bei 40% der CABG-Patienten ($p< 0,0001$) zu einem weiteren Herzinfarkt. Somit schneiden die operierten Patienten sogar schlechter ab als die rein medikamentös behandelten (33%).³⁴ Der Anstieg der Myokardinfarktrate wurde um das 8. Jahr dokumentiert,³⁴ zu diesem Zeitpunkt etwa wird erwartet, dass sich ein Großteil zumindest der venösen Bypassgefäße verschlossen hat.

Die Verschlussphase koronarer Bypassgefäße setzt jedoch nicht erst nach 8 Jahren ein. Schon 11 Tage postoperativ sind 1,3 % der LIMA-Bypassgefäße,¹⁵ nach einem Jahr 3,4% (Frauen) bis 5,7% (Männer) der arteriellen Bypassgefäße nicht mehr durchgängig.¹¹⁶ Zum letzteren Zeitpunkt finden sich bei 16,7% der Frauen und bei 12,4% der Männer verschlossene venöse Bypassgefäße,¹¹⁶ die Mortalität beträgt 2,8% und die Herzinfarktrate 4%.¹⁰⁷ Nach 3 Jahren sind 20-30% der Bypassgefäße verschlossen.⁵⁵

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. Dies wäre eine Erklärung dafür, dass viele Bypasspatienten relativ spät, wenn bereits mehrere Bypassgefäße verschlossen sind, wegen nun auftretender Beschwerden ärztliche Hilfe suchen. Zu diesem Zeitpunkt kann es aber bereits zu einer irreversiblen Myokardschädigung aufgrund der chronischen myokardialen Minderperfusion gekommen sein. 8 Jahre nach der koronaren Bypassoperation sind 17,3 % der Patienten verstorben,^{1,73} wie schon erwähnt, steigt dann die Myokardinfarktrate deutlich an.³⁴

Da, wie eben angeführt, die Prognose der Patienten eng mit der Offenheitsrate der Bypassgefäße korreliert,¹¹⁶ wäre es für die Patienten wichtig, die regelrechte Perfusion der Bypassgefäße rechtzeitig, das heißt in regelmäßigen Zeitabständen unabhängig von der Symptomatik, zu überprüfen. Dadurch könnte ein Bypassverschluss frühzeitig erkannt werden, bevor die Mehrzahl der Bypassgefäße verschlossen ist. So ließe sich eventuell auch die nach 8 Jahren ansteigende Myokardinfarktrate³⁴ bypassoperierter Patienten senken. Aufgrund der Komplikationsrate der konventionellen, invasiven Linksherzkatheteruntersuchung (siehe Kapitel 5.2.2. Mögliche Komplikationen der invasiven Koronarangiographie) ist es jedoch nicht zu vertreten, asymptotische Bypasspatienten, also Patienten ohne Angina pectoris oder ohne Ischämienachweis, routinemäßig, regelmäßig und wiederholt einer invasiven Untersuchung zu unterziehen. Somit steht mit der Mehrschicht Computertomographie ein nichtinvasives, schnelles und sicheres Verfahren zur Verfügung, um die koronaren Bypassgefäße auf ihre Offenheit zu überprüfen.

5.4. Vorliegende Ergebnisse hinsichtlich der Offenheitsrate der untersuchten Bypassgefäße

Die Grundaussage dieser Arbeit kann wie folgt beschrieben werden: Nach im Mittel 5,5 Jahren waren bei mehr als jedem 3. Patienten (37,9%) Bypassgefäße verschlossen. Dabei sei der Hinweis erneut erlaubt, dass die untersuchten Personen frei von einer typischen Angina Pectoris Symptomatik und ohne Ischämienachweis waren. Bei 26,2.% war der Verschluss aufgrund der Unauffälligkeit von Klinik und Voruntersuchungen nicht erwartet worden. Während in der Literatur die groß angelegten Studien (BARI, CASS) keinen signifikanten Unterschied zwischen Angioplastie und Bypasschirurgie bezüglich des Überlebens zeigten,^{2,105} verweist eine 2003 erschienene Arbeit von COLE et al.³⁴ auf einen signifikanten Anstieg der Herzinfarktrate CABG-operierter Patienten im Vergleich zu angioplastierten- und sogar rein medikamentös behandelten- Patienten nach dem 8. postoperativen Jahr. COLE erklärte sich dies damit, dass der Anstieg der Myokardinfarktrate mit dem in der Regel zu erwartenden Zeitpunkt von gehäuften Bypassverschlüssen zusammenfällt („The CABG group had the highest rate of recurrent MI around the expected graft loss (year 8)“).

Mit dieser Aussage deckt sich auch das Ergebnis dieser Arbeit bezüglich des Zeitpunktes der Bypassverschlüsse. 10 Jahre postoperativ zeigt sich ein deutlicher Anstieg der Verschlussrate venöser Gefäße von 23,8% (7-9 Jahre) auf 61,1% (10-12 Jahre postoperativ). Die arteriellen Gefäße verschließen sich verstärkt laut dieser Datenlage tendenziell sogar früher, nämlich ab dem 7-postoperativen Jahr. Die Verschlussrate steigt von 11,7% (5-6Jahre) auf 44,4% (7-9 Jahre postoperativ) an. (Siehe dazu auch Kapitel 4.4. Offenheit der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Operationszeitpunkt).

Wie zu erwarten war, sind die arteriellen Bypassgefäße den venösen bezüglich der Offenheitsrate überlegen. Diese beträgt im Durchschnitt für das Gesamtkollektiv / die venösen Bypassgefäße / die arteriellen Bypassgefäße / die LIMA-Gefäße / die RIMA-Gefäße / die Arteria radialis-Gefäße: 76,9% / 70,5 % / 87,9% / 90,6% / 77,3% / 88,9%.

Die entsprechenden Verschlussraten betragen: 20,6% / 27,5% / 8,6% / 8,2% / 13,6% / 0%; Die fehlende Differenz zwischen beiden Werten ergibt sich aus der Gruppe der nicht zu beurteilbaren Bypassgefäßen. Bei den arteriellen Gefäßen ist die linke Arteria mammaria interna der rechten ebenso überlegen, was auch in der Literatur bestätigt wird.^{27,32,40,51}

Ferner ist bekannt, dass die rechte Arteria mammaria interna die größte Offenheit besitzt, wenn sie auf das LAD-Gebiet angelegt ist^{31,32,39} (siehe auch Kapitel 5.3.3. Offenheit von Bypassgefäßen im Allgemeinen). Dies konnte überzeugend in der durchgeführten Erhebung bestätigt werden. Die Bypassgefäße, die das Gebiet der LAD versorgen, hatten die höchste Offenheit. Insgesamt erwiesen sich Bypassgefäße in das Versorgungsgebiet der LAD zu 84%, zum RCX zu 66,3% und zur RCA in 75,8% als offen.

Die in der Literatur gefunden Offenheitsraten von koronaren Bypassgefäßen im Vergleich zu dieser Untersuchungsreihe wird in nachfolgender Tabelle wiedergegeben:

%	Berger	Ura	Barner	Tan	DISSERTATION	Lytle	Goldmann	DISSERTATION	Galbut	Ura	Barner
n	617	115	519	786	37	501		79	1087	115	519
Beobachtungszeitraum -auch gemittelt - (Jahre)	0,03	0,06	1	1	<1	1,25	3	1-2	4,4	4,9	5
venen Bypass			93,4	87	78,6	82	87,5	79,3			74
LIMA	98,7	97,1	96,4	94,5	100	97	93	91,3	92,1	92,3	88,1
RIMA		95,4	92,8		75			77	84,9	89,9	84,6
A.rad					83,3			100			

%	DISSERTATION	Ropers	Acar	DISSERTATION	Lytle	Dion	Barner	DISSERTATION	Ivert	Fiore	DISSERTATION
n	59	182		53	501	500	519	30	99	100	23
Beobachtungszeitraum -auch gemittelt - (Jahre)	3-4	5,7	7	5-6	7,3	10	10	7-9	11	13	10-12
venen Bypass	82,9	66		72,2	45		41	76,2	61		33,3
LIMA	94,7	90	91	100	93	96,3	88,1	55,6	88	82	80
RIMA	100			33,3						85	
A.rad			83								

Tabelle 17: Vergleich unserer Ergebnisse für die Offenheitsraten mit der Literatur

5.4.1. Einfluss kardiovaskulärer Risikofaktoren

Die klassischen Risikofaktoren der Arteriosklerose wie Diabetes mellitus, Dyslipoproteinämie, arterielle Hypertonie, familiäre Belastung und Nikotinkonsum hatten keinen Einfluss auf die Bypass-Verschlussrate (siehe Kapitel 4.6. und 4.7.). Deren Behandlung stellt natürlich weiterhin eine tragende Säule der konservativen Nachbetreuung koronarkrankter Patienten dar.

Bei nicht nennenswerten demographischen Unterschieden in beiden Gruppen wiesen die an Diabetes mellitus erkrankten Patienten keine erhöhte Verschlussrate auf, die arteriellen Bypassgefäßen zeigten sogar eine tendenziell erhöhte Offenheit.

In der Literatur kommt dem Diabetes mellitus eine tragende Rolle in der Entwicklung der Arteriosklerose zu. Postoperativ zeigt sich eine signifikant erhöhte Mortalität der Diabetiker.⁹¹ Zudem kommt es zu einem gehäuften postoperativen Auftreten von Angina Pectoris.²⁸ NEITZEL et al. beschrieben für diese Patienten auch eine erhöhte Verschlussrate von Bypassgefäßen.⁹⁵ In anderen Studien, darunter die BARI Subgruppenanalyse, wird dem Diabetes mellitus kein Einfluss auf die Verschlussrate^{2,29,46,107} zugeschrieben.

Hinsichtlich der sonstigen kardiovaskulären Risikofaktoren verhält es sich in der gefundenen Literatur ähnlich wie für den Diabetes mellitus. Insbesondere die Dyslipoproteinämie ist mit einer erhöhten postoperativen Mortalität und einem gehäuften Auftreten von erneuten Ereignissen verbunden,^{20,49,110} ein Einfluss auf die Verschlussrate koronarer Bypassgefäße konnte bisher nicht bewiesen werden³⁰. Gleiches ist einschlägig für die arterielle Hypertonie beschrieben.^{28-30,95,110}

5.4.2. Einfluss der Medikation

Auch die Medikation zum Zeitpunkt der CTA hatte keinen eindeutigen Einfluss auf die Bypassverschlüsse. Lediglich Clopidogrel erbrachte eine deutlich größere Offenheit der arteriellen Gefäße von 100% im Vergleich zum Gesamtkollektiv (87,9%). Zu beachten ist jedoch die kleine Fallzahl von 5 arteriellen Gefäßen. Die 15 venösen Bypassgefäße dieser Subgruppe hatten mit 65,2% sogar tendenziell eine schlechtere Offenheit als die der Gesamtgruppe (70,5%).

Bezüglich des Einflusses medikamentöser Therapie auf die Offenheit von Bypassgefäßen hatte in der Literatur die Gabe von 325mg/d Acetylsalicylsäure nur im ersten postoperativen Jahr einen positiven Effekt auf die Bypassoffenheit, und dies auch nur bei einem Gefäßparameter unter 2 mm⁵²⁻⁵⁴. Danach konnte kein zusätzlicher Gewinn in Bezug auf die Bypassoffenheit mehr nachgewiesen werden

5.4.3. Einfluss des Patientenalters

Dass das Patientenalter ein wichtiger Prädiktor für die Offenheit der Bypassgefäße ist, wurde in der Literatur mehrfach dokumentiert^{23,33,77} und deckt sich mit den

Ergebnissen der durchgeführten Untersuchung. Im Kapitel 4.5. konnte die höhere Offenheitsrate der Bypassgefäße jüngerer Patienten nachgewiesen werden. Anhand der Subgruppenanalysen konnte dies auch unabhängig von Gefäßalter und Art der Bypassgefäße nachgewiesen werden.

Auffallend war nämlich das deutlich erhöhte Alter der Bypassgefäße in der Gruppe der über 60-Jährigen. Die Subgruppenanalyse der Patienten mit 3 - 4- Jahre alten Bypassgefäßen in den beiden Gruppen zeigte aber auch hier einen deutlichen Vorteil zugunsten der jüngeren Patienten.

Die Tatsache, dass in der Gruppe der 41-59-Jährigen deutlich öfter arterielle Gefäße verwendet wurden, erklärt die geringere Anzahl verschlossener Bypassgefäße insgesamt, die gesonderte Analyse der venösen und arteriellen Gefäße ist davon jedoch unbeeinflusst.

Auch in der Subgruppe der Patienten, die 13-16 Jahre postoperativ untersucht wurden, war das Patientenalter die einzige Abweichung vom Gesamtkollektiv. Diese Patienten fielen durch deutlich gegentrendläufige höhere Offenheitsraten ihrer koronaren Bypassgefäße auf.

5.4.4. Einfluss des Zeitintervalls nach der Bypassoperation

Die bekannte, zunehmende Verschlussrate mit ansteigendem „Alter“ von Bypassgefäßen wurde bereits im Kapitel „5.4. Vorliegende Ergebnisse hinsichtlich der Offenheit der untersuchten Bypassgefäße“ abgehandelt. Des weiteren darf auf die Ergebnisse des Kapitels „4.4. Offenheit der Bypassgefäße in Abhängigkeit vom Operationszeitpunkt“ hingewiesen werden.

Auch bei den Patienten, die verschlossene Bypassgefäße aufwiesen, war das Bypassalter die einzige deutlich vom Gesamtkollektiv abweichende Variante. Die Bypassgefäße waren im Schnitt 7,27 Jahre alt im Vergleich zu 5,56 Jahren der Gesamtgruppe.

5.4.5. Diskussion der Analyse der gegentrendläufigen Ergebnisse der Patienten, die 13 – 16 Jahre postoperativ untersucht wurden

Die erhöhte Offenheit dieser Gruppe kann nicht eindeutig erklärt werden. Sie betrifft vor allem die arteriellen Gefäße, die aber mit 3 zahlenmäßig nur gering vertreten sind. Gegenüber der Gesamtgruppe war nur ein leichter Vorteil bezüglich der Risikofaktoren und der medikamentösen Therapie zu beobachten, jedoch konnte in den Kapiteln 4.6., 4.7. und 4.8. keine eindeutige Einflussnahme dieser Faktoren auf die Offenheit konstatiert werden. Lediglich mit Clopidogrel konnte vor allem für die arteriellen Gefäße eine erhöhte Offenheit gezeigt werden. Gerade Clopidogrel wurde in dieser Gruppe häufiger verschrieben, was eventuell eine Erklärung der besseren Ergebnisse sein könnte.

Das Durchschnittsalter dieser Gruppe lag mit 63 Jahren unter dem der Gesamtgruppe (66 Jahre). Dieser Faktor konnte ja als positiver Prädiktor für die Offenheit im Kapitel 4.5. postuliert werden. Die Tatsache, dass die Patienten im Mittel 14,6 Jahre vor der CTA Untersuchung operiert worden sind, bestätigt dieser Patientengruppe ein relativ junges Alter zum Zeitpunkt der Operation. Eventuell ist eben dies der entscheidende Faktor, was schon wiederholt in Untersuchungen belegt worden ist^{23,33}. KOFFLARD zum Beispiel bestätigte Patienten unter 35 Jahren eine exzellente Offenheit von Bypassgefäßen.⁷⁷

Ein weiterer Tatbestand ist, dass es sich hier um beschwerdefreie Patienten handelt. Wie schon in der Einführung angeführt, wird um das 8. postoperative Jahr ein deutlicher Anstieg der Verschlussrate und der Reinfarktrate erwartet. Überstehen Patienten diese kritische Phase beschwerdefrei, könnte man eine „natürliche“ Selektion zugunsten offener Bypassgefäße vermuten.

5.4.6. Prädiktoren einer Bypassoffenheit

Folgende Prädiktoren lassen eine erhöhte Offenheit koronarer Bypassgefäßen erwarten: Niedriges Patientenalter, geringes „Alter“ der Bypassgefäße, Verwendung arterieller Bypassgefäße und hier insbesondere linker Mammaria Arterien, Anschluss der Bypassgefäße im Versorgungsgebiet der LAD, sowie eventuell die

Verabreichung von Clopidogrel. Anhand der vorliegenden Daten könnte Clopidogrel bezüglich der Offenheit vor allem arterieller Bypassgefäße doch eine zentrale Rolle zukommen. So zeigten die Clopidogrel behandelten Patienten höhere Offenheitsraten ihrer arteriellen Bypassgefäße, auch wurde in der Subgruppe der 13-16 Jahre alten Bypassgefäße mit 40% relativ häufig Clopidogrel verschrieben. Diese Untergruppe fiel durch eine gegentrendläufige erhöhte Offenheit ihrer Bypassgefäße auf. Alle ihrer 3 arteriellen Bypassgefäße waren offen.

Eine Subgruppenanalyse der CAPRIE Studie¹⁷ untersuchte die Überlegenheit von Clopidogrel gegenüber Aspirin bei Bypasspatienten. Das Auftreten des primären Endpunktes (Vaskulärer Tod, Myokardinfarkt, cerebraler Insult, ischämiebedingte Rehospitalisation) betrug unter Clopidogrel 15,2%, unter Aspirin 21,6% pro Jahr. Das Risiko eines vaskulären Todes wurde durch Clopidogrel im Vergleich zu Aspirin um 42,8% reduziert. Leider liegen in dieser Analyse keine Daten zu den Offenheitsraten der Bypassgefäße vor, sodass letztendlich auch die Therapie der Progression in den Nativgefäßen die Reduktion des definierten Endpunktes bedingen kann. Interessant wäre auch der Effekt auf die unterschiedlichen (arteriellen oder venösen) Bypassgefäße gewesen.

Diese Arbeit unterstützt die Behauptung der Untersuchung von COLE, dass sich die Bypassgefäße verstärkt um des 8. postoperative Jahr verschließen. Hier zeigte er ja wie wiederholt erwähnt einen deutlichen Anstieg der Herzinfarktrate.

Die Frage stellt sich, ob die CT-Angiographie der Bypassgefäße bei asymptomatischen Patienten routinemäßig durchgeführt werden sollte. Anhand der Datenlage müsste sie mit ja beantwortet werden, da gezeigt werden konnte, dass nach im Schnitt 5,5 Jahren bei mehr als jedem 3. asymptomatischen Patienten Bypassgefäße verschlossen waren.

5.5. Invasiv untersuchte Kontrollgruppe

Als Kontrollgruppe wurden 78 Bypassgefäße mittels invasiver Linksherzkatheteruntersuchung und Bypassangiographie nachuntersucht. 75 Gefäße wurden letztendlich in der CTA-Untersuchung richtig erkannt. 2 Venenbypassgefäße wurden fälschlicherweise in der CTA als verschlossen beschrieben, ein Venenbypass konnte nicht sicher beurteilt werden. Die Sensitivität für die Erkennung von Bypassverschlüssen lag bei 100%, die Spezifität bei 95,7% (92,9% für venöse, 100% für arterielle Bypassgefäße). Der positive Vorhersagewert betrug 94,1%, der negative Vorhersagewert 100%. Somit konnte jeder tatsächlich verschlossene Bypass auch in der CTA als verschlossen erkannt werden und kein in der CTA als offen gesehenes Bypassgefäß war in Wahrheit verschlossen. Es konnten alle arteriellen Bypassgefäße richtig erkannt werden. Dies ist deshalb ein beeindruckendes Ergebnis, da sich die Darstellung und Erkennung der arteriellen Bypassgefäße aufgrund des deutlich dünneren Gefäßkalibers im Vergleich zu den venösen Bypassgefäßen als schwieriger erweist. Hilfreich sind jedoch die operativ zur Ligatur von winzigen Seitenästen verwendeten Metallclips, die hinweisgebend auf den Verlauf der arteriellen Bypassgefäße sind. Es ist bekannt, dass größere Metallclips durch Strahlungsartefakte aber vor allem durch räumliche Überlagerung eine verminderte Aussagekraft in diesem Bereich erwirken können.^{38,124} Am bedeutendsten wird dies, wenn sie direkt und eventuell auch vermehrt im Bereich der Anastomosen angebracht sind. Ansonsten können die arteriellen Bypassgefäße wegen des doch weitgehend vom Myokard freigelegten Verlaufs durch Drehung und Inspektion mit einer anderen Projektion gut und ausreichend beurteilt werden

In einer Zwischenanalyse der Ergebnisse ergab sich der Befund, dass ein LIMA Bypass, der in der CTA Untersuchung als verschlossen dokumentiert wurde, sich in der Linksherzkatheteruntersuchung offen zeigte. In der invasiven Bypassangiographie der Linksherzkatheteruntersuchung konnte der LIMA Abgang aus der Arteria subclavia nicht selektiv intubiert werden, in der Übersichtsaufnahme sah man ein abgehendes LIMA Gefäß, es wurde als offen angesehen. Inzwischen war der Patient nach 1,5 Jahren erneut zur Linksherzkatheteruntersuchung vorstellig, das LIMA Gefäß war nun schon am Ostium verschlossen. Die erneute Befundung der damaligen Untersuchung ergab, dass auch zu jenem Zeitpunkt die LIMA bereits

medial verschlossen gewesen war. Da Mammaria Bypassgefäße im proximalen Anschnitt noch über funktionelle Seitengefäße verfügen, können sie sich noch über eine gewisse Strecke füllen, obwohl sie distal verschlossen sind. Dies war im Beispiel des beschriebenen LIMA Gefäßes der Fall. Dies zeigt aber, dass auch die als Goldstandard geltende Linksherzkatheteruntersuchung nicht 100%-ig ist, die CTA Untersuchung dieser sogar unter gewissen Umständen überlegen sein kann.

Die Ergebnisse auch hinsichtlich Sensitivität und Spezifität wurden mit der in der Literatur erhältlichen Daten verglichen. Die meisten Untersuchungen zur nicht-invasiven Bestimmung der Offenheit von koronaren Bypassgefäßen wurden bislang mit EBT^{7,58,64,84} oder MRT^{10,69,75,102,122,127} durchgeführt. Zu Beginn dieser Untersuchungsreihe waren in der Literaturrecherche mittels Medline zum Thema „nicht-invasive Bypassangiographie mit Multislice CT und invasive Kontrollangiographie“ lediglich die Arbeit von ROPERS et al.¹⁰⁰ später auch von FRÖHNER et al.⁴⁷ sowie die polnische Arbeit von PASOWICZ et al.⁹⁸ verfügbar. Im Juni 2003 und Juli 2003, erschienen Veröffentlichungen aus dem asiatischen Raum von KO et al.⁷⁶ und YOO et al.¹²⁸ Die Arbeit von LEMBURG et al. beschrieb Untersuchungsergebnisse mit dem MSCT bezüglich der Bypassangiographie, sie wurde jedoch nicht mit der invasiven Angiographie verglichen.⁸⁰

2004 erschienen mehrere Arbeiten, die das Thema dieser Arbeit behandeln: Aus Italien stammt die Arbeit von ROSSI et al.¹⁰¹, die mit einem 4-Zeilen CT von 127 Bypassgefäßen asymptomatischer Patienten mehr als 10 Jahre postoperativ 116 Gefäße (87 Venen, 26 LIMA, 2 RIMA, 1 Arteria gastroepiploica) sicher beurteilen konnten. Hierbei zeigte sich im Vergleich zur invasiven Angiographie bezüglich der Erkennung eines Bypassverschlusses eine Sensitivität und eine Spezifität dieser 116 Gefäße von jeweils 100%. MARANO untersuchte mit einem 4-Zeilen CT 57 Patienten mit mindestens einer Mammaria Arterie auf die LAD.⁸⁷ Bei seinen 122 Bypassgefäßen hatte er für die Erkennung eines Bypassverschlusses eine Sensitivität von 93% und eine Spezifität von 97,8% (arterielle Gefäße 100% / 98,7%). Eine erst kürzlich erschienen Arbeit von MARTUSCELLI^{88,101} untersuchte mit einem 16 Zeilen CT 285 Bypassgefäße bezüglich Offenheit und Stenosierung (>50%). Dabei konnten 251 Gefäße sicher beurteilt werden. Für die Erkennung eines Verschlusses lag die Sensitivität und Spezifität ebenso bei jeweils 100%, für die Erkennung einer Bypassstenose lagen die Sensitivität bei 90%, die Spezifität bei

100%. 17 der 21 Bypassstenosen waren Anastomosenstenosen. Von diesen wurden zwei, jeweils zum Ramus posterolateralis der RCA, mit dem MSCT nicht erkannt. SCHLOSSER und Mitarbeiter untersuchten mit dem 16-Zeilen CT 131 Bypassgefäße (40 Mammaria- und 91 venöse Gefäße).¹⁰⁴ Dabei konnten alle Bypassgefäße beurteilt werden, jedoch waren nur 74% der Bypassanastomosen sicher einzusehen. Für die Erkennung einer Bypassstenose lag die Sensitivität bei 96%, die Spezifität bei 95%. Die Werte wurden zudem mit der Bypassuntersuchung von ROPERS¹⁰⁰ mittels 4-Zeilen CT verglichen. Die Verwendung der 16-Zeilen Technik erbringt eine größere Anzahl von beurteilbaren Bypassgefäßen (Verbesserung von 62% auf 74%), die Möglichkeit der Entdeckung einer Stenose wird deutlich verbessert (Verbesserung der Sensitivität von 75% auf 96% und der Spezifität von 92% auf 95%). BURGSTHALER zeigte für die Erkennung von Bypassstenosen eine Sensitivität von 86% und eine Spezifität von 100%.²⁵ Er konnte 86% der 21 Bypassgefäße signifikant beurteilen. WINTERSPERGER et al. untersuchten kürzlich die Darstellbarkeit speziell arterieller Bypassgefäße mit der Mehrschicht Computertomographie.¹²⁴ 14 Patienten hatten 37 arterielle und 6 venöse Bypassgefäße. Die CT Untersuchung erfolgte innerhalb der ersten 10 Tage nach der Operation. Ziel der Untersuchung war vor allem die Objektivierung der Darstellbarkeit der dünneren arteriellen Bypassgefäße inklusive der oft beeinträchtigenden Metallclips. Die Bildqualität konnte in 21% als exzellent, in 36% als sehr gut, in 29% als gut und in 14% als schlecht, aber diagnostisch noch auswertbar eingestuft werden. Nicht verwertbare Untersuchungen kamen nicht vor. Erneut zeigte sich ein deutlicher Zusammenhang von Herzfrequenz und Bildqualität. Obwohl bei den meisten Patienten komplexe Bypassverhältnisse inklusive Y- oder T-Grafts vorlagen, gelang eine für die Fragestellung entsprechende Darstellung der arteriellen Bypassgefäße in 86%. DEMARIA nutzte die Möglichkeit der MSCT Technik zur frühen Bypassnachsorge bereits 7 Tage postoperativ und konnte alle Bypassgefäße auch die mit komplexem sequentiellen Verlauf gut beurteilen, nur selten kam es zu Artefaktüberlagerung der Anastomosenstelle durch Metallclips.³⁸

Die in der Literatur erhältlichen Daten für die Erkennung von Bypassverschlüssen zeigen eine weitgehende Übereinstimmung mit den Daten dieser Arbeit. Die nachstehende Tabelle fasst die Datenlage zusammen.

Autor	Gerät	Bypässe	n	Sensitivität	Spezifität
aktuelle Dissertationsarbeit	4-MSCT	Venen	55	100	92,9
		Arterien	23	100	100
Martuscelli, E. 2004 ⁸⁸	16-MSCT	Gesamt	285	100	100
Rossi,R. 2004 ¹⁰¹	4-MSCT	Gesamt	116	100	100
Marano, R. 2004 ⁸⁷	4-MSCT	Gesamt	122	93	97,8
Ko, Y. 2003 ⁷⁶	4-MSCT	Gesamt	115	100	93,3
Yoo, K. 2003 ¹²⁸	4-MSCT	Venen	55	100	100
		Arterien	70	100	98
Fröhner, S. 2002 ⁴⁷	4-MSCT	Gesamt	20	100	100
Ropers, D. 2001 ¹⁰⁰	4-MSCT	Gesamt	124	98	97
Pasowicz, M. 2002 ⁹⁸	4-MSCT	Gesamt	187	94,7	92,4
Engelmann, M. ⁴¹	1-Spiral-CT	Gesamt	49	97	92
Hoshi, T. 2001 ⁶⁴	EBT	Venen	54	95	88
		Arterien	45	100	100
Lu, B. 2002 ⁸⁴	EBT	Gesamt		90,7	87,5
Achenbach. S. 1997 ⁷	EBT	Gesamt	56	100	100
Ha, A 1999 ⁵⁸	EBT	Venen	57	91,1	91,7
		Arterien	22	82,4	80
Wittlinger, T. 2002 ¹²⁷	NMR	Gesamt	82	96	76
Knoll, P. 1994 ⁷⁵	NMR	Gesamt	100	94	76
Rubinstein, R. 1987 ¹⁰²	NMR	Venen	47	92	85
Jenkins, J. 1988 ⁶⁹	NMR	Venen	41	89	73
White, R. 1988 ¹²²	NMR	Gesamt	28	93	86
Aurigemma, G. 1989 ¹⁰	NMR	Gesamt	45	100	88
von Smekal, A 1997 ¹²¹	NMR	Gesamt	55	100	67
Wintersperger, B. 1998 ¹²⁵	NMR	Venen	48	94	85
		Arterien	28	96	67

Tabelle 18: Literaturangaben zu Sensitivität und Spezifität für die Erkennung von Bypassverschlüssen mit nicht-invasiven Methoden

5.6. Wer profitiert von einer Bypass-CTA Untersuchung und welche Konsequenzen hat ein diagnostizierter Bypassverschluss?

Eine sichere Beurteilung der Bypassgefäße ist nur bei optimalen Grundbedingungen gewährleistet. Für die meisten Bypasspatienten ist die Offenheit der Bypassgefäße die wichtigste Voraussetzung für eine gute und vollständige Myokardperfusion.

Zunächst sollte aber klar festgehalten werden: Patienten mit typischer Angina pectoris Symptomatik oder eindeutiger ischämietypischer Diagnostik mittels EKG, Ergometrie, Stressechokardiographie oder Myokardszintigraphie sollten sich primär (noch!) einer erneuten Linksherzkatheteruntersuchung unterziehen, da eine Perfusionsstörung entweder der Nativgefäße oder der Bypassgefäße zu erwarten ist. Ergibt die CTA Untersuchung einen nicht bekannten Bypassverschluss, ist nach Vergleich und Korrelation mit vorliegenden Vorbefunden eine erneute Linksherzkatheteruntersuchung zu empfehlen, um die Möglichkeit einer Intervention am Nativgefäß zu untersuchen. Ausnahmen sind Patienten mit Angina Pectoris Symptomatik, deren Ursache (zum Beispiel ein Bypassverschluss) bereits untersucht und erklärt ist, ohne dass sich daraus eine erneute Konsequenz ergab. Auch in diesem Fall bringt die CTA Untersuchung durch die Darstellung eventuell verbliebener offener Bypassgefäße weitere wichtige Informationen. Wenn der Kardiologe bei Vorkenntnis aller Vorbefunde in einem solchen Fall ein Stady State dokumentieren möchte, ist auch dann die CTA Untersuchung ebenfalls eine echte Alternative zur Linksherzkatheteruntersuchung.

Prinzipiell ist die CTA Untersuchung für beschwerdefreie Patienten zur Bypassnachsorge sinnvoll, des weiteren für bypassoperierte Patienten, deren Beschwerdesymptomatik nicht einwandwandfrei Angina Pectoris typisch ist, und, obwohl eine invasive Diagnostik noch nicht sicher indiziert ist, eine genauere Abklärung gewünscht wird.

Gerade bei Bypasspatienten kennt man die Problematik, dass sie aufgrund von zum Teil bereits mehrfach erfahrenen Katheteruntersuchungen und von nachfolgend durchgemachter, schwerer Operation einer erneuten invasiven Diagnostik mit Zurückhaltung gegenüber stehen. Für sie ist sowohl bei untypischen Beschwerden, aber auch zur Nachsorge der zum Teil schon in die Tage gekommenen

Bypassgefäße („Bypass-TÜV“) die CTA eine echte Alternative, die nach eigener Erfahrung dankbar angenommen wird.

Ein Verschluss eines Bypasses ist oft asymptomatisch. Durch zum Teil schon vor der Operation erfolgte Kollateralisierung ist weiterhin eine uneingeschränkte Myokardperfusion gewährleistet. Was geschieht jedoch, wenn das die Kollateralen abgebende Gefäß selbst durch eine Stenosierung eine Perfusionsminderung erfährt? Unter diesen Umständen kommt es dann nicht nur zu einer umschriebenen Myokardischämie, sondern es ist plötzlich ein enormes Versorgungsgebiet betroffen, nämlich sowohl das des Bypassgefäßes als auch das des Kollateralen abgebenden Gefäßes. Jüngstes bekanntes Beispiel ist der berühmte Schauspieler Günther Pfitzmann, der überraschend im kardiogenem Schock verstarb, nachdem 3 seiner 4 Bypassgefäße verschlossen waren.

Unter Berücksichtigung dieser Fakten sollte aus prophylaktischen und prognostischen Gründen bei einem Bypassverschluss oder hochgradigen Stenosierungen die Möglichkeit einer Intervention am bypassversorgten Nativgefäß oder am Bypassgefäß selbst überlegt und untersucht werden. An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, dass es bei keinem Patient dieser Untersuchungsreihe zu Komplikationen gekommen ist.

Nebenher wurde von CAIMMI ein weiterer Gesichtspunkt vorgestellt.²⁶ Er benutzte das Cardio-CT zur Auswahl von Patienten für eine minimal-invasiven Bypassoperation. Er konnte somit eine Verringerung der Konversion von einem minimal-invasiven Eingriff in das chirurgische Standardverfahren erreichen, zudem konnte er den Herzchirurgen eine Hilfestellung bezüglich des besten chirurgischen Zugangs geben. Aus diesem Grunde wurden auch in unserer Erhebung die verbliebenen Mammaria Arterien dokumentiert.

5.7. Limitationen der vorliegenden Arbeit

Einschränkend ist zu erwähnen, dass im untersuchten Patientengut ein Bypassverschluss (100% Lumeneinengung) zwar in 37,9% der Fälle verlag, eine Bypassstenose (>75% - 99% Lumeneinengung) jedoch nur in einem einzigen Fall festgestellt wurde. Somit gelten die vorliegenden Daten nur für Bypassverschlüsse;

über die Sensitivität und Spezifität von Bypass-Stenosen kann jedoch keine Aussage gemacht werden.

Ein weiterer Kritikpunkt ist, dass in dieser Erhebung die Beurteilung der Anastomosen nicht gesondert untersucht wurde. Bekanntermaßen ist gerade dieses bei den Methoden der nicht-invasiven Angiographien der Schwachpunkt. In dieser Untersuchungsreihe konnten die Anastomosen für eine aussagekräftige Beurteilung ausreichend dargestellt werden, in der Kontrollgruppe der invasiv Kontrollierten Bypassgefäße wurde zumindest keine Anastomosenstenose übersehen. Möglicherweise können die Bypass-Anastomosen mit dem 16-Zeiler besser beurteilt werden. Eine kürzlich erschienene Untersuchung beschäftigte sich mit dem Vergleich der Bypassangiographie mit einem 4- und einem 16 Zeilen-CT.⁷¹ Dabei wurde die Bildqualität in einer 5 Punkte Skala eingetragen. Es stellte sich eine signifikant bessere Bildqualität mit dem 16-Zeilen CT heraus, die Beurteilung der Anastomosen erbrachte jedoch keinen Unterschied. SCHLOSSER kam zu dem Schluss, dass der Vorteil des 16 Zeilen CT im Vergleich zum 4-Zeilen CT in der Verkürzung des Atemanhaltens, der Reduktion respiratorischer Artefakte sowie kardialer Bewegungsartefakte, schnelleren Rotationszeiten und einer Abnahme der Schichtdicke liegt.¹⁰⁴ Künftige Entwicklungen mit mehr als 64-Zeilen MSCT Geräten und – entscheidend – schnelleren Umlaufzeiten (unter 400 ms) werden zeigen, ob das Cardio-CT aufgrund seiner verbesserten räumlichen und zeitlichen Auflösung auch die zuverlässige Beurteilung der Anastomosen und der anastomosierten Nativgefäße ermöglicht.

5.8. Effektive Strahlenexposition

Ohne spezielle Techniken kann die Strahlenexposition des MSCT bei der Koronarangiographie 3-10 mSv betragen,⁸⁹ viele Protokolle beschreiben meist eine Exposition zwischen 3 – 5 mSv.⁵

ACHENBACH et al. dokumentierten bei der Untersuchung koronarer Nativgefäße mit dem 4 Zeilen CT eine effektive Strahlendosis von 3,9 mSv für Männer und 5,8 mSv für Frauen.⁹ FLOHR et al. zeigten für den Siemens 4 Zeilen Computertomographen Sensation 4 eine effektive Patienten Dosis für die Koronarangiographie von 5,71

mSv für Männer und 8,49 mSv für Frauen. Damit liegt die Strahlendosis etwa im Bereich der diagnostischen Linksherzkatheteruntersuchung (4 -9 mSv).

Für die Bypassdarstellung wird die Strahlendosis etwas höher ausfallen, da der Scan bereits unmittelbar unterhalb des Aortenbogens beginnt und somit die Scanausdehnung bzw. Aufnahmezeit länger ist. Aber auch bei der invasiven Bypassangiographie der Linksherzkatheteruntersuchung ist die Durchleuchtungszeit verlängert, da die Abgänge der Bypassgefäße aus der Aorta ascendens erst aufgesucht werden müssen. Längere Untersuchungszeiten für die Darstellung der Mammaria- Arterien sind hinlänglich bekannt.

Eine in der Literatur beschriebene Untersuchung der Strahlenexposition bei Bypassdarstellungen mit einem 4 Zeilen Computertomographen (Siemens Somatom) wurde 2001 von ROPERS et al. durchgeführt. Mit dem PC Programm WinDose (Wellhöfer Dosimetrie/Scanditronix Medical, Schwarzenbruck, Germany) wurde eine mittlere effektive Strahlendosis von 3,6 mSv für Männer und 5,1 mSv für Frauen gemessen.¹⁰⁰

Die neue Generation von 16 Zeilen Computertomographen ist meist mit einer weiterentwickelten Softwareversion zur Strahlenreduktion kombiniert, wie zum Beispiel die „ECG controlled dose modulation“.⁴⁵ Da für die CT-Koronarangiographie, wie bereits angeführt, vor allem die Diastole im Vordergrund steht, wird lediglich die Herzphase, die etwa 40-90% des RR- Intervalls entspricht, mit der regelüblichen Röhrenspannung abgetastet. In der verbliebenen Herzphase wird die Röhrenspannung auf etwa 20% zurückgefahren.⁴⁵ Somit erreicht man eine deutliche Reduktion der effektiven Strahlendosis, die bei den 16 Zeilen CT aufgrund der dünneren Schichtdicke und des in Relation zur abgetasteten Schichtdicke reduzierten Tischvorschubs von Haus aus circa 20% höher ausfällt (7,1 mSv anstatt 5,71 mSv bei Männern)⁴⁵ als in der entsprechenden Untersuchung mit einem 4 Zeilen CT.

Eine kürzlich erschienene Publikation bezüglich der Strahlenexposition von Multislice CTs stammt aus Essen von HUNOLD und Mitarbeitern.⁶⁵ Er untersuchte drei 4-Zeilen und drei 16-Zeilen MSCT mit einem anthropomorphen Alderson Rando Phantom, das mit jeweils 66 LIF Dosimetern (TLD) ausgestattet war. Die Anlagen waren jeweils von Siemens, General Electrics oder Philips. Für die Koronar-

angiographie konnte eine effektive Strahlenexposition bei den 4-Zeilen CT Anlagen jeweils für Männer/Frauen wie folgt gemessen werden: Siemens Volume Zoom 10,9/13,0 mSv, GE Light Speed QX 12,3/15,7 mSv, Philips Mx8000 6,3/8,2 mSv.

Die entsprechenden Daten für die 16 Zeilen Anlagen lagen bei Siemens Sensation 16 bei 17,7/20,0 mSv, bei GE Light Speed 16 bei 14,1/18,8 mSv und bei Philips Mx8000 IDT bei 9,0/11,2 mSv. Anzumerken ist, dass teilweise (Siemens) keine Dosismodulationssoftware benutzt wurde.

mSv	Siemens		GE		Philips	
	4-Row	16-Row	4-Row	16-Row	4-Row	16-Row
Männer	10,9	17,7	12,3	14,1	6,3	9,0
Frauen	13,0	20,0	15,7	18,8	8,2	11,2

Tabelle 19: nach Hunold et al: Strahlenexposition der CTA

Seit Oktober 2003 ist im Herzdiagnostikzentrum München ein 16-Zeilen CT (Philips Mx8000 IDT) im Betrieb. Die während der Untersuchung mit diesem Gerät dokumentierten Dosiswerte ergaben folgende effektive Strahlendosiswerte für die Bypassangiographie: für Männer 8,9 mSv (7,1-12,0; $\pm 0,8$), für Frauen 10,9 mSv (10,1-11,3; $\pm 0,65$). Mit der nicht-invasiven Koronarangiographie erhielten Männer 6,8 mSv (5,3-12,1; $\pm 0,7$), Frauen 9,9 mSv (7,9-11,6; $\pm 0,9$). Zu bemerken ist jedoch, dass erst in der letzten Zeit zunehmend das EKG-Modulationsprogramm zur Strahlenreduktion eingesetzt wurde, was eine Dosisreduktion von 10 bis 20% erwarten lässt. Anfangs wurde diese Methode bewusst nicht eingesetzt, da wir zunächst Erfahrungen ohne eventuelle zusätzliche „Störgrößen“ mit potenziell erhöhtem Bildrauschen sammeln wollten.

Diese Daten konnten mit den Dosiswerten verglichen werden, die im Herzkatheterlabor der kardiologischen Praxis dokumentiert wurden. Hierbei ergaben sich bei der diagnostischen Linksherzkatheteruntersuchung inklusive Lävographie bei Männern effektive Dosiswerte von 6,2 mSv (3,0-12,0; $\pm 2,3$) bzw. von 4,5mSv (1,3-13,4; $\pm 2,3$) bei Frauen. Die invasive Bypassangiographie inklusive Koronarangiographie, Lävographie und gegebenenfalls Aortographie zeigte bei Männern effektive Dosiswerte von 17,8mSv (1,8-32,8; $\pm 5,9$), bei Frauen 14,9 mSv

(1,0-31,9; $\pm 3,9$). Somit ist die Strahlenexposition der invasiven Bypassangiographie deutlich höher als die der nicht-invasiven mittels MSCT, wenngleich die Aussagekraft der invasiven Methode durch die bessere Beurteilung der Nativgefäße größer ist.

mSv		CT- Angiographie	invasive Angiographie
Koronarangiographie	Männer	6,8	6,2
	Frauen	9,9	4,5
Bypass-/ Koronarangiographie	Männer	8,9	17,8
	Frauen	10,9	14,9

Tabelle 20: Vergleich Strahlenexposition CTA - Herzkatheter

5.9. Kernspintomographie – eine alternative Methode zur CTA ?

Die Kernspintomographie (NMR, MRT, MR) stellt grundsätzlich eine mögliche Alternative zum Cardio-CT dar.^{8,18,37,41,120} Im Vergleich zum MRT weist die Computertomographie derzeit eine höhere räumliche Auflösung auf, wobei das MRT eine bessere zeitliche Auflösung bietet.^{61,96}

Nach früheren vergleichenden Untersuchungen war das Cardio-CT dem MRT in der Beurteilung von Bypassgefäßen überlegen,¹²¹ insbesondere bei arteriellen Bypassgefäßen.⁷⁴ Die Werte für Sensitivität für die Detektion von Bypassverschlüssen liegen zwischen 89% und 100% (siehe Kapitel 5.5.). Die Beurteilbarkeit der distalen Anastomosen zeigte eine Abhängigkeit von der gewählten Aufnahmesequenz.¹²⁶ Zwar können MRT Aufnahmen – wie beim Cardio-CT – in Atemanhaltetechnik gemacht werden, die Schichtdicke ist aber beim MRT mit circa 3 - 5 mm deutlich schlechter als mit dem Cardio-CT mit 1,3 mm beim Vierzeiler und ca. 0,8 mm beim Sechzehnzeiler.⁵⁹ Obwohl die Schichtdicke beim MRT durch längere Aufnahmezeiten von 6 mm auf 3 mm verringert werden kann, führt dies nicht zwangsläufig zu einer verbesserten Bildqualität.⁹⁹ Mit der Navigator-Technik wurde an 38 Patienten eine Sensitivität von 88% bis 98% bei einer Spezifität von 72% bis 100% erreicht.⁷⁹

Neben der bildlichen Darstellung können mit der MRT auch Flussmessungen zur Beurteilung der Offenheit in den Bypassgefäßen durchgeführt werden^{67,74,90,115}. Ob

diese aufwändigere Technik die Aussagekraft erhöht, ist bei einer Sensitivität von 78% und einer Spezifität von 80% bislang fraglich.^{14,22} Gleiches gilt auch für die Flussmessung in Bypassgefäßen mit dem Cardio-CT.^{84,118} Ihren Stellenwert in der Ischämie- und Vitalitätsdiagnostik hat die Kernspintechnik jedoch bereits bewiesen.

Sicherlich werden auch hier weitere Hardware und Software Entwicklungen, sowie neue Kontrastmittel eine weitere Verbesserung der Bildqualität bringen, sodass das MRT insbesondere durch seinen Verzicht auf ionisierte Strahlung eine attraktive Alternative zum Cardio-CT werden kann.

6. Zusammenfassung

Die nicht-invasive Bypassangiographie mit der Multislice-Computertomographie ist eine zuverlässige, hoch sensitive und patientenfreundliche Methode zur frühzeitigen Erkennung eines Bypassverschlusses. Im speziellen Fall der Bypassangiographie ist die effektive Strahlendosis der CT-Angiographie im Mittel sogar niedriger als die der invasiven Bypassangiographie.

Wie erwartet, zeigte sich eine stetig zunehmende Verschluss tendenz der untersuchten Bypassgefäße mit zunehmendem Abstand vom Operationszeitpunkt. Unsere Ergebnisse zeigten, dass 37,9% der Patienten nach im Mittel 5,5 Jahren mindestens ein verschlossenes Bypassgefäß hatten. Der Bypassverschluss war bei 26,2% der Patienten nicht vorbekannt und für 17,4% der Patienten aufgrund ihrer völligen Beschwerdefreiheit ein unerwarteter Befund.

In der vorliegenden Arbeit, betrug die Sensitivität und Spezifität der nicht-invasiven Bypassangiographie mit dem Cardio-CT zur Erkennung eines Bypassverschlusses 100% bzw. 95,7%. Die Aussagekraft für die koronaren Nativgefäße ist bei meist erheblichem Koronarkalk in dieser Patientengruppe stark eingeschränkt.

Die rechtzeitige Erkennung eines Bypassverschlusses könnte helfen, Komplikationen im Rahmen eventuell späterer Bypassverschlüsse entgegenzuwirken. Die nicht-invasive Bypassangiographie mit dem Cardio-CT stellt sowohl für Patienten, als auch für Ärztinnen und Ärzte eine diagnostische Bereicherung als Entscheidungshilfe zur invasiven Koronarangiographie dar. Für die kardiologische Praxis ergibt sich eine neue Möglichkeit, Patienten nach koronarer Bypassoperation ohne invasive Diagnostik hinsichtlich der Bypassanatomie zu überwachen.

7. Literaturverzeichnis

1. 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.
2. The Bypass Angioplasty Revascularization Investigation (BARI) Investigators: Comparison of coronary bypass surgery with angioplasty in patients with multivessel disease. *N Engl J Med.* 1996;335:217-25.
3. Society for Cardiac Angiography and Interventions. Abstracts to be presented at the Society's annual meeting. May 16-19, 1990, Colorado Springs, Colorado. *Cathet Cardiovasc Diagn.* 1990;19:295-9.
4. Acar C, Ramsheyi A, Pagny JY, Jebara V, Barrier P, Fabiani JN, Deloche A, Guermonprez JL, Carpentier A. The radial artery for coronary artery bypass grafting: clinical and angiographic results at five years. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1998;116:981-9.
5. Achenbach S. Comparison: Electron CT. In: *2nd international Conference on Cardiac Spiral CT.* Charleston, South Carolina; June 29-30, 2001.
6. Achenbach S. Klinischer Stellenwert der Cardio-CT-Koronarangiographie. *Herz.* 2003;28:119-25.
7. 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.
8. 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-73E.
9. 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.
10. Aurigemma GP, Reichek N, Axel L, Schiebler M, Harris C, Kressel HY. Noninvasive determination of coronary artery bypass graft patency by cine magnetic resonance imaging. *Circulation.* 1989;80:1595-602.
11. Barbir M, Hunt BJ, Galloway D, Taylor A, Ilesley C, Mitchell A, Yacoub M. A randomized pilot trial of low-dose combination lipid-lowering therapy following coronary artery bypass grafting. *Clin Cardiol.* 1994;17:59-64.
12. Barner HB. Remodeling of arterial conduits in coronary grafting. *Ann Thorac Surg.* 2002;73:1341-5.

13. Barner HB, Standeven JW, Reese J. Twelve-year experience with internal mammary artery for coronary artery bypass. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1985;90:668-75.
14. Bedaux WL, Hofman MB, Vyt SL, Bronzwaer JG, 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.
15. 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: benchmark for minimally invasive direct coronary artery bypass. *Circulation.* 1999;100:2353-8.
16. Bertrand ME, Legrand V, Boland J, Fleck E, Bonnier J, Emmanuelson H, Vrolix M, Missault L, Chierchia S, Casaccia M, Niccoli L, Oto A, White C, Webb-Peploe M, Van Belle E, McFadden EP. Randomized multicenter comparison of conventional anticoagulation versus antiplatelet therapy in unplanned and elective coronary stenting. The full anticoagulation versus aspirin and ticlopidine (fantastic) study. *Circulation.* 1998;98:1597-603.
17. Bhatt DL, Chew DP, Hirsch AT, Ringleb PA, Hacke W, Topol EJ. Superiority of clopidogrel versus aspirin in patients with prior cardiac surgery. *Circulation.* 2001;103:363-8.
18. Boehm DH, Wintersperger BJ, Reichenspurner H, Gulbins H, Detter C, Kur F, Meiser B, Reichart B. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography for control of minimally invasive coronary artery bypass conduits (MIDCAB/OPCAB). *Heart Surg Forum.* 1999;2:222-5.
19. Boehme E, Steinbigler P, Czernik A, Lubner A, Scherzberg-Doktorczyk A, Buck J, Haberl R. Invasive versus nichtinvasive (MSCT) Koronarangiographie. Stellenwert der kardialen Diagnostik mittels Multislice-Computertomographie. *Herz.* 2003;28:36-43.
20. Bourassa MG. Fate of venous grafts: the past, the present and the future. *J Am Coll Cardiol.* 1991;17:1081-3.
21. Bourassa MG. Long-term vein graft patency. *Curr Opin Cardiol.* 1994;9:685-91.
22. Brenner P, Wintersperger B, von Smekal A, 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.
23. Brooks MM, Jones RH, Bach RG, Chaitman BR, Kern MJ, Orszulak TA, Follmann D, Sopko G, Blackstone EH, Califf RM. Predictors of mortality and mortality from cardiac causes in the bypass angioplasty revascularization investigation (BARI) randomized trial and registry. For the BARI Investigators. *Circulation.* 2000;101:2682-9.

24. Bruckenberger E. *Herzbericht 2003: 16. Bericht der Arbeitsgruppe Krankenhauswesen der Arbeitsgemeinschaft der obersten Landesgesundheitsbehörden der Länder (AOLG)*. Hannover; 2004.
25. Burgstahler C, Kuettner A, Kopp AF, Herdeg C, Martensen J, Claussen CD, Schroeder S. Non-invasive evaluation of coronary artery bypass grafts using multi-slice computed tomography: initial clinical experience. *Int J Cardiol.* 2003;90:275-80.
26. Caimmi PP, Fossaceca R, Lanfranchi M, Kapetanakis EI, Verde A, Panella A, Bernardi M, Fiume C, Vivirito M, Carriero A, Micalizzi E. Cardiac angio-CT scan for planning MIDCAB. *Heart Surg Forum.* 2004;7:E113-6.
27. Cameron A, Davis KB, Green G, Schaff HV. Coronary bypass surgery with internal-thoracic-artery grafts--effects on survival over a 15-year period. *N Engl J Med.* 1996;334:216-9.
28. Cameron AA, Davis KB, Rogers WJ. Recurrence of angina after coronary artery bypass surgery: predictors and prognosis (CASS Registry). Coronary Artery Surgery Study. *J Am Coll Cardiol.* 1995;26:895-9.
29. Campeau L, Enjalbert M, Lesperance J, Bourassa MG, Kwiterovich P, Jr., Wacholder S, Sniderman A. The relation of risk factors to the development of atherosclerosis in saphenous-vein bypass grafts and the progression of disease in the native circulation. A study 10 years after aortocoronary bypass surgery. *N Engl J Med.* 1984;311:1329-32.
30. Cataldo G, Braga M, Pirotta N, Lavezzari M, Rovelli F, Marubini E. Factors influencing 1-year patency of coronary artery saphenous vein grafts. Studio Indobufene nel Bypass Aortocoronarico (SINBA). *Circulation.* 1993;88:II93-8.
31. Chocron S, Etievent JP, Schiele F, Clement F, Alwan K, Cordier A, Schipman N, Mourand JL. The Y graft: myocardial revascularization with both internal thoracic arteries. Evaluation of eighty cases with coronary angiographic assessment. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1994;108:736-40.
32. Chow MS, Sim E, Orszulak TA, Schaff HV. Patency of internal thoracic artery grafts: comparison of right versus left and importance of vessel grafted. *Circulation.* 1994;90:II129-32.
33. Cole JH, Jones EL, Craver JM, Guyton RA, Morris DC, Douglas JS, Ghazzal Z, Weintraub WS. Outcomes of repeat revascularization in diabetic patients with prior coronary surgery. *J Am Coll Cardiol.* 2002;40:1968-75.
34. Cole JH, Miller JI, 3rd, Sperling LS, Weintraub WS. Long-term follow-up of coronary artery disease presenting in young adults. *J Am Coll Cardiol.* 2003;41:521-8.
35. Cosgrove DM, Loop FD, Lytle BW, Gill CC, Golding LA, Gibson C, Stewart RW, Taylor PC, Goormastic M. Predictors of reoperation after myocardial revascularization. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1986;92:811-21.

36. Dangas G, Mehran R, Kokolis S, Feldman D, Satler LF, Pichard AD, Kent KM, Lansky AJ, Stone GW, Leon MB. Vascular complications after percutaneous coronary interventions following hemostasis with manual compression versus arteriotomy closure devices. *J Am Coll Cardiol.* 2001;38:638-41.
37. Danias PG, Manning WJ. Coronary MR angiography: current status. *Herz.* 2000;25:431-9.
38. Demaria RG, Piciche M, Vernhet H, Battistella P, Rouviere P, Frapier JM, Albat B. Internal thoracic arterial grafts evaluation by multislice CT scan: a preliminary study. *J Card Surg.* 2004;19:475-80.
39. Dietl CA, Benoit CH, Gilbert CL, Woods EL, Pharr WF, Berkheimer MD, Madigan NP, Menapace FJ. Which is the graft of choice for the right coronary and posterior descending arteries? Comparison of the right internal mammary artery and the right gastroepiploic artery. *Circulation.* 1995;92:II92-7.
40. Dion R, Glineur D, Derouck D, Verhelst R, Noirhomme P, El Khoury G, Degrave E, Hanet C. Long-term clinical and angiographic follow-up of sequential internal thoracic artery grafting. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2000;17:407-14.
41. Engelmann MG, Knez A, von Smekal A, Wintersperger BJ, Huehns TY, Hofling B, Reiser MF, Steinbeck G. Non-invasive coronary bypass graft imaging after multivessel revascularisation. *Int J Cardiol.* 2000;76:65-74.
42. Favalaro RG. Saphenous vein graft in the surgical treatment of coronary artery disease. Operative technique. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1969;58:178-85.
43. Fiore AC, Naunheim KS, Dean P, Kaiser GC, Pennington G, Willman VL, McBride LR, Barner HB. Results of internal thoracic artery grafting over 15 years: single versus double grafts. *Ann Thorac Surg.* 1990;49:202-8; discussion 208-9.
44. Fitzgibbon GM, Kafka HP, Leach AJ, Keon WJ, Hooper GD, Burton JR. Coronary bypass graft fate and patient outcome: angiographic follow-up of 5,065 grafts related to survival and reoperation in 1,388 patients during 25 years. *J Am Coll Cardiol.* 1996;28:616-26.
45. Flohr T, Kuttner A, Bruder H, Stierstorfer K, Halliburton SS, Schaller S, Ohnesorge BM. Performance evaluation of a multi-slice CT system with 16-slice detector and increased gantry rotation speed for isotropic submillimeter imaging of the heart. *Herz.* 2003;28:7-19.
46. Fox MH, Gruchow HW, Barboriak JJ, Anderson AJ, Hoffmann RG, Flemma RJ, King JF. Risk factors among patients undergoing repeat aorta-coronary bypass procedures. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1987;93:56-61.
47. Froehner S, Wagner M, Schmitt R, Brunn J, Muller M, Christopoulos G, Coblenz G, Kerber S, Urbanski P. Mehrzeilen-Spiral-CT von aortokoronaren Venenbypassen und Mammaria-interna-Bypassen: Beurteilung der Bypasse und ihrer Anastomosen. *Rontgenpraxis.* 2002;54:163-73.

48. Froßmann W. Die Sondierung des rechten Herzens. *Klin. Wochenschr.* 1929;8:2085-2087.
49. Frye RL, Kronmal R, Schaff HV, Myers WO, Gersh BJ. Stroke in coronary artery bypass graft surgery: an analysis of the CASS experience. The participants in the Coronary Artery Surgery Study. *Int J Cardiol.* 1992;36:213-21.
50. Galanski M, Prokop M. *Ganzkörper Computertomographie: Grundlagen.* Stuttgart, New York: Thieme; 1998.
51. Galbut DL, Traad EA, Dorman MJ, DeWitt PL, Larsen PB, Kurlansky PA, Button JH, Ally JM, Gentsch TO. Seventeen-year experience with bilateral internal mammary artery grafts. *Ann Thorac Surg.* 1990;49:195-201.
52. Goldman S, Copeland J, Moritz T, Henderson W, Zadina K, Ovitt T, Doherty J, Read R, Chesler E, Sako Y, et al. Improvement in early saphenous vein graft patency after coronary artery bypass surgery with antiplatelet therapy: results of a Veterans Administration Cooperative Study. *Circulation.* 1988;77:1324-32.
53. Goldman S, Copeland J, Moritz T, Henderson W, Zadina K, Ovitt T, Doherty J, Read R, Chesler E, Sako Y, et al. Saphenous vein graft patency 1 year after coronary artery bypass surgery and effects of antiplatelet therapy. Results of a Veterans Administration Cooperative Study. *Circulation.* 1989;80:1190-7.
54. Goldman S, Copeland J, Moritz T, Henderson W, Zadina K, Ovitt T, Kern KB, Sethi G, Sharma GV, Khuri S, et al. Long-term graft patency (3 years) after coronary artery surgery. Effects of aspirin: results of a VA Cooperative study. *Circulation.* 1994;89:1138-43.
55. 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. Department of Veterans Affairs Cooperative Study Group No. 297. *J Am Coll Cardiol.* 1997;29:1563-8.
56. Grossman W, Baim DS. *Cardiac Catheterization, Angioplasty and Intervention.* forth edition ed. Philadelphia, London: Lea and Febinger; 1991.
57. Grüntzig A. Transluminal dilatation of coronary-artery stenosis. *Lancet.* 1978;1:263.
58. 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.
59. 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.
60. Halliburton SS. Fundamentals of cardiac technics. In: *2nd international Conference on Cardiac Spiral CT.* Charleston, South Carolina; June 29-30, 2001.

61. Heinzerling J, Fa. Philips H. Abstracts of Scientific Sessions: Present and future Cardiac CT and MR Technology. In: *ESCR Berlin*. Berlin; November 2002.
62. Hess OW, Simon RW. *Herzkatheter, Einsatz in Diagnostik und Therapie*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2000.
63. Hombach V. *Interventionelle Kardiologie, Angiologie und Kardiovaskularchirurgie. Kapitel 18*. Stuttgart, New York: Schattauer; 2001.
64. 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.
65. Hunold P, Wieneke H, Bruder O, Jochims M, Erbel R, Barkhausen J. Strahlenexposition bei der CT der Koronararterien - Vergleich der effektiven Dosis für Kalkscoring und CT Koronarangiographie mit verschiedenen Multidetektor-Scannern. *RöFo-lecture*. 2004;827697.
66. Investigators I-. Randomised trial of intravenous streptokinase, oral aspirin, both, or neither among 17,187 cases of suspected acute myocardial infarction: ISIS-2. ISIS-2 (Second International Study of Infarct Survival) Collaborative Group. *Lancet*. 1988;2:349-60.
67. 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.
68. Ivert T, Huttunen K, Landou C, Bjork VO. Angiographic studies of internal mammary artery grafts 11 years after coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1988;96:1-12.
69. Jenkins JP, Love HG, Foster CJ, Isherwood I, Rowlands DJ. Detection of coronary artery bypass graft patency as assessed by magnetic resonance imaging. *Br J Radiol*. 1988;61:2-4.
70. Judkins MP. Selective coronary arteriography. I. A percutaneous transfemoral technic. *Radiology*. 1967;89:815-24.
71. Khan MF, Herzog C, Landenberger K, Maataoui A, Martens S, Ackermann H, Moritz A, Vogl TJ. Visualisation of non-invasive coronary bypass imaging: 4-row vs. 16-row multidetector computed tomography. *Eur Radiol*. 2005;15:118-26.
72. Khan NE, De Souza A, Mister R, Flather M, Clague J, Davies S, Collins P, Wang D, Sigwart U, Pepper J. A randomized comparison of off-pump and on-pump multivessel coronary-artery bypass surgery. *N Engl J Med*. 2004;350:21-8.
73. King SB, 3rd, 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.

74. Knez A, Haberl R, Becker C, Becker A, Engelmann M, Bruning R, Reiser M, Steinbeck G. Stellenwert der Elektronenstrahltomographie in der Beurteilung der Durchgängigkeit aortokoronarer Bypässe. *Radiologe*. 1998;38:1012-20.
75. Knoll P, Bonatti G, Pitscheider W, Psenner K, Erlicher A, Zammarchi A, Crepaz R. Die Wertigkeit der Kernspintomographie bei der Beurteilung der Durchgängigkeit von aortokoronaren Grafts. *Z Kardiol*. 1994;83:439-45.
76. Ko YG, Choi DH, Jang YS, Chung NS, Shim WH, Cho SY, Yoo KJ, Chang BC, Choi BW. Assessment of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Yonsei Med J*. 2003;44:438-44.
77. Kofflard MJ, de Jaegere PP, van Domburg R, Ruygrok P, van den Brand M, Serruys PW, de Feyter PJ. Immediate and long-term clinical outcome of coronary angioplasty in patients aged 35 years or less. *Br Heart J*. 1995;73:82-6.
78. Kussmaul WG, 3rd, Buchbinder M, Whitlow PL, Aker UT, Heuser RR, King SB, Kent KM, Leon MB, Kolansky DM, Sandza JG, Jr. Rapid arterial hemostasis and decreased access site complications after cardiac catheterization and angioplasty: results of a randomized trial of a novel hemostatic device. *J Am Coll Cardiol*. 1995;25:1685-92.
79. 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.
80. Lemburg SP, Heyer CM, Kagel T, Reichert J, Fritz M, Jaczkovics A, Nicolas V. Evaluating Patency of coronary Bypass Grafts after OPCAB with Multislice- CT. *Thorac Cardiovasc Surg*. 2003;V 103 Abstract.
81. Leon MB, Baim DS, Popma JJ, Gordon PC, Cutlip DE, Ho KK, Giambartolomei A, Diver DJ, Lasorda DM, Williams DO, Pocock SJ, Kuntz RE. A clinical trial comparing three anti-thrombotic-drug regimens after coronary-artery stenting. Stent Anticoagulation Restenosis Study Investigators. *N Engl J Med*. 1998;339:1665-71.
82. Lichtlen PR. Ambulante Koronarangiographie und PTCA. *Herz*. 1998;23:1-3.
83. Lichtlen PR. *Koronarangiographie*. 2. überarbeitete Auflage ed. Erlangen: perimed Fachbuchverlagsgesellschaft; 1990.
84. 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.
85. Lytle BW. Coronary reoperations. *Coron Artery Dis*. 1993;4:703-6.
86. Lytle BW, Loop FD, Cosgrove DM, Ratliff NB, Easley K, Taylor PC. Long-term (5 to 12 years) serial studies of internal mammary artery and saphenous vein coronary bypass grafts. *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1985;89:248-58.

87. Marano R, Storto ML, Maddestra N, Bonomo L. Non-invasive assessment of coronary artery bypass graft with retrospectively ECG-gated four-row multi-detector spiral computed tomography. *Eur Radiol.* 2004;14:1353-62.
88. Martuscelli E, Romagnoli A, D'Eliseo A, Tomassini M, Razzini C, Sperandio M, Simonetti G, Romeo F, Mehta JL. Evaluation of venous and arterial conduit patency by 16-slice spiral computed tomography. *Circulation.* 2004;110:3234-8.
89. McCollough CH. Patient dose in cardiac computed tomography. *Herz.* 2003;28:1-6.
90. 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.
91. Morris JJ, Smith LR, Jones RH, Glower DD, Morris PB, Muhlbaier LH, Reves JG, Rankin JS. Influence of diabetes and mammary artery grafting on survival after coronary bypass. *Circulation.* 1991;84:III275-84.
92. Motwani JG, Topol EJ. Aortocoronary saphenous vein graft disease: pathogenesis, predisposition, and prevention. *Circulation.* 1998;97:916-31.
93. Napel SA. Kapitel 1: Grundprinzipien der Spiral CT. In: *Spiral CT: Prinzipien, Techniken und klinische Anwendung.* Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2000:3-4.
94. Nathoe HM, van Dijk D, Jansen EW, Suyker WJ, Diephuis JC, van Boven WJ, de la Riviere AB, Borst C, Kalkman CJ, Grobbee DE, Buskens E, de Jaegere PP. A comparison of on-pump and off-pump coronary bypass surgery in low-risk patients. *N Engl J Med.* 2003;348:394-402.
95. Neitzel GF, Barboriak JJ, Pintar K, Qureshi I. Atherosclerosis in aortocoronary bypass grafts. Morphologic study and risk factor analysis 6 to 12 years after surgery. *Arteriosclerosis.* 1986;6:594-600.
96. Nieman K, van Geuns RJ, Wielopolski P, Pattynama PM, de Feyter PJ. Noninvasive coronary imaging in the new millennium: a comparison of computed tomography and magnetic resonance techniques. *Rev Cardiovasc Med.* 2002;3:77-84.
97. Noppeney T, Eberlein U, Langhans L, von der Emde J. The influence of age and other risk factors on the results of coronary reoperation. *Thorac Cardiovasc Surg.* 1993;41:43-8.
98. Pasowicz M, Klimeczek P, Przewlocki T, Zmudka K, Konieczynska M, Krochin M, Kozanecki A, Wilkolek P, Sadowski J, Podolec P, Tracz W. Evaluation of patency of coronary artery bypass grafts and stents using multislice spiral computed tomography in comparison with angiography. *Przegl Lek.* 2002;59:616-9.
99. 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.
100. 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.
 101. Rossi R, Chiurlia E, Ratti C, Ligabue G, Romagnoli R, Modena MG. Noninvasive assessment of coronary artery bypass graft patency by multislice computed tomography. *Ital Heart J.* 2004;5:36-41.
 102. Rubinstein RI, Askenase AD, Thickman D, Feldman MS, Agarwal JB, Helfant RH. Magnetic resonance imaging to evaluate patency of aortocoronary bypass grafts. *Circulation.* 1987;76:786-91.
 103. Sanborn TA, Gibbs HH, Brinker JA, Knopf WD, Kosinski EJ, Roubin GS. A multicenter randomized trial comparing a percutaneous collagen hemostasis device with conventional manual compression after diagnostic angiography and angioplasty. *J Am Coll Cardiol.* 1993;22:1273-9.
 104. Schlosser T, Konorza T, Hunold P, Kuhl H, Schmermund A, Barkhausen J. Noninvasive visualization of coronary artery bypass grafts using 16-detector row computed tomography. *J Am Coll Cardiol.* 2004;44:1224-9.
 105. Schwartz L, Kip KE, Frye RL, 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.
 106. Seldinger SI. Catheter replacement of the needle in percutaneous arteriography; a new technique. *Acta Radiol.* 1953;39:368-76.
 107. Serruys PW, Unger F, Sousa JE, Jatene A, Bonnier HJ, Schonberger JP, Buller N, Bonser R, van den Brand MJ, van Herwerden LA, Morel MA, van Hout BA. Comparison of coronary-artery bypass surgery and stenting for the treatment of multivessel disease. *N Engl J Med.* 2001;344:1117-24.
 108. Silber S. Bedeutung der EKG-Triggerung mit dem Multi-Slice-CT zum Ausschluss einer Koronararterienverkalkung bei Personen ohne bekannte KHK. *Herz.* 2001;26:260-72.
 109. Silber S, Levenson B, Schrader R, Kaltenbach M. [Second and Third Annual Report of the German Society of Coronary Angiography and Interventions in Private Practice (BNK) concerning quality assurance in invasive cardiology]. *Herz.* 2000;25:143-50.
 110. Solymoss BC, Nadeau P, Millette D, Campeau L. Late thrombosis of saphenous vein coronary bypass grafts related to risk factors. *Circulation.* 1988;78:1140-3.
 111. Sones FM, Jr., Shirey EK. Cine coronary arteriography. *Mod Concepts Cardiovasc Dis.* 1962;31:735-8.

112. Sones FMJ, Shirey EK, Proudfit WL, Westcott RN. Cine Coronary Arteriography (Abstract). *Circulation*. 1959;20:773-4.
113. Spokojny AM, Sanborn TA. Management of the arterial puncture site. *J Interv Cardiol*. 1994;7:187-93.
114. Stanford W, Rumberger J. *Ultrafast computed tomography in cardiac imaging*. New York: Futura; 1992.
115. 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. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr*. 2001;173:790-7.
116. Tan ES, van der Meer J, Jan de Kam P, Dunselman PH, Mulder BJ, Ascoop CA, Pfisterer M, Lie KI. 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. CABADAS. Research Group of the Interuniversity Cardiology Institute of The Netherlands. Coronary Artery Bypass graft occlusion by Aspirin, Dipyridamole and Acenocoumarol/phenoprocoumon Study. *J Am Coll Cardiol*. 1999;34:1760-8.
117. Tatoulis J, Buxton BF, Fuller JA. Patencies of 2127 arterial to coronary conduits over 15 years. *Ann Thorac Surg*. 2004;77:93-101.
118. 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.
119. Ura M, Sakata R, Nakayama Y, Arai Y, Saito T. Long-term patency rate of right internal thoracic artery bypass via the transverse sinus. *Circulation*. 1998;98:2043-8.
120. 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.
121. von Smekal A, Knez A, Seelos KC, Haberl R, Spiegl F, Reichart B, Steinbeck G, Reiser M. Vergleich von ultraschneller Computertomographie, Magnetresonanzangiographie und selektiver Angiographie zum Nachweis der Durchgangigkeit koronarer Bypasses. *Rofo Fortschr Geb Rontgenstr Neuen Bildgeb Verfahr*. 1997;166:185-91.
122. White RD, Pflugfelder PW, Lipton MJ, Higgins CB. Coronary artery bypass grafts: evaluation of patency with cine MR imaging. *AJR Am J Roentgenol*. 1988;150:1271-4.
123. Willmann JK, Weishaupt D, Kobza R, Verdun FR, Seifert B, Marincek B, Boehm T. Coronary artery bypass grafts: ECG-gated multi-detector row CT angiography--influence of image reconstruction interval on graft visibility. *Radiology*. 2004;232:568-77.

124. Wintersperger BJ, Bastarrika G, Nikolaou K, Rist C, Huber A, Knez A, Reiser MF, Becker CR, Vicol C. EKG-gesteuerte Bypass-CT-Angiographie--Einsatz in der Darstellung arterieller Bypässe. *Radiologe*. 2004;44:140-5.
125. Wintersperger BJ, Engelmann MG, von Smekal A, Knez A, Penzkofer HV, Hofling B, Laub G, Reiser MF. Patency of coronary bypass grafts: assessment with breath-hold contrast-enhanced MR angiography--value of a non-electrocardiographically triggered technique. *Radiology*. 1998;208:345-51.
126. Wittlinger T, Voigtlander T, Grauvogel K, Meyer J, Kreitner KF, Kalden P, Thelen M. Kernspintomographische Darstellung koronarer Bypassgefasse - Vergleich der Haste- und Fisp-3-D-Angiographiesequenz mit der konventionellen Koronarangiographie. *Z Kardiol*. 2000;89:7-14.
127. Wittlinger T, Voigtlander T, Kreitner KF, Kalden P, Thelen M, Meyer J. Non-invasive magnetic resonance imaging of coronary bypass grafts. comparison of the haste- and navigator techniques with conventional coronary angiography. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2002;18:469-77; discussion 483-4.
128. Yoo KJ, Choi D, Choi BW, Lim SH, Chang BC. The comparison of the graft patency after coronary artery bypass grafting using coronary angiography and multi-slice computed tomography. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2003;24:86-91; discussion 91.

8. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Silber, der diese Arbeit ermöglichte und mir stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Weiterhin bedanke ich mich bei Frau Silber, die als Geschäftsführerin des Herzdiagnostikzentrums mir uneingeschränkten Wirkungskreis und Einsicht in die Patientendaten ermöglichte.

Ohne der tatkräftigen Hilfe der Mitarbeiter des Herzdiagnostikzentrums und hier insbesondere von Frau Monika Rothmeier wäre der Aufwand dieser Arbeit beträchtlich größer geworden, auch ihnen gilt mein größter Dank.

Zudem fühle ich mich allen Kollegen verpflichtet, die die von mir untersuchten Patienten weiterbetreuten und mir eventuelle Nachuntersuchungen zur Einsicht und Auswertung weiterleiteten.

Zuletzt gilt mein Dank Herrn Dr. Nagel von der Firma Philips, der die Ermittlung der Strahlenexpositionsdaten übernahm und mir ebenso zu diesem Thema mit Fachkompetenz und Rat zur Seite stand.

Außen vor bedanke ich mich herzlichst und in Liebe bei meiner Familie, primär bei meinen Eltern, die mir mein Studium und meinen Beruf selbstlos ermöglichten und mich immer wieder auch in schwierigen Zeiten ermutigten und unterstützten. Ihnen sei diese Arbeit in Dankbarkeit gewidmet.

9. Lebenslauf

Name	Stefan Finsterer
Geboren	23.06.1967 in Ingolstadt
Wohnort	Jahnstraße 30, 80469 München
Eltern	Dr. Alois Finsterer (Dipl. Forstwirt), Marianne Finsterer
Geschwister	Louis Finsterer (Architekt)
Kinder	Leopold Schwarz
Staatsangehörigkeit	Deutsch
Familienstand	Ledig

I. Schulische Ausbildung

26.06.1986 Abschluss der schulischen Laufbahn nach 13 Jahren mit dem Abitur am Apian Gymnasium Ingolstadt, bis 1984 am humanistisch- neusprachlichen Reuchlin Gymnasium Ingolstadt

II. Wehrdienst

10/86- 12/87 Wehrdienstzeit als Sanitätssoldat im Sanitätszentrum der Pionierkaserne Ingolstadt

III. Studium

05/88- 07/95 Medizinstudium an der Ludwig-Maximilian Universität München; Abschlussnote: 1,99

IV. ärztliche Tätigkeiten

01/96- 03/01 Assistenzarzt der Inneren Abteilung des Klinikum Ingolstadt bei Prof. Wirtzfeld, seit 01/99 bei Prof. Pfafferott

01/96- 12/96 Stationsarzt auf einer onkologisch- hämatologischen/ kardiologischen Station unter Oberarzt Prof. Maubach

01/97- 12/97 Stationsarzt auf einer rhythmologischen/ kardiologischen Station unter Oberarzt Dr. Hitzler

01/98- 11/98 Sichtungsarzt und internistischer Aufnahmearzt im Notfallzentrum

12/98- 05/99 Tätigkeit in der dem Klinikum Ingolstadt angegliederten Klinik für Anschlussheilbehandlung Kipfenberg

05/99- 01/00 Tätigkeit in der internistischen Funktionsabteilung

01/00- 02/01 internistische Intensivstation

03/01- 06/05	Praxisassistent der internistisch- kardiologischen Praxis Prof. Dr. Silber, Dr. Bödiger und Dr. Mühling, München
10/02- 05/04	invasiv- kardiologische Tätigkeit im Herzkatheterlabor an der internistischen Klinik Dr. Müller der o.g. kardiologischen Klinikpraxis
05/04- 06/05	Weiterbildung zur organspezifischen Nuklearmedizin und verantwortlich für nicht-invasive CT Angiographie (16-Zeilen MSCT)
seit 06/05	Oberarzt der Medizinischen Klinik I am Klinikum Ingolstadt mit Schwerpunkt im Herzkatheterlabor

V. Anerkennungen

01/01	Fachkunde „Rettungsdienst“
10/02	Facharztanerkennung „Internist“
05/04	Facharztanerkennung „Kardiologie“
11/04	Fachkunde im Strahlenschutz