

ÜBERSICHTSARBEIT

Moderne Verfahren in der operativen Myokardrevaskularisation

Stefan Klotz, Hans H. Scheld

ZUSAMMENFASSUNG

Einleitung: Die konventionelle operative Myokardrevaskularisation unter Verwendung der Herz-Lungen-Maschine ist seit mehreren Jahrzehnten der Standard. Ziel dieser Arbeit ist die Bewertung neuerer Verfahren zur Bypassoperation in der Herzchirurgie. **Methoden:** Übersichtsarbeit auf der Basis einer selektiven Literaturliteraturarbeit. **Ergebnisse/Diskussion:** Die Verwendung der Herz-Lungen-Maschine stellt weiterhin den Goldstandard der chirurgischen Therapie der koronaren Herzkrankung dar. Die Verwendung rein arterieller Bypassgefäße wird durch die bessere Offenheitsrate im Langzeitverlauf den Venenbypass gerade bei jüngeren Patienten ersetzen können. Die operative Myokardrevaskularisation ohne Verwendung der Herz-Lungen-Maschine („off-pump“) konnten die zum Teil großen Erwartungen bislang nicht erfüllen. Diese Form der Operation kann jedoch bei ausgewählten Patienten mit vielen Komorbiditäten das perioperative Risiko deutlich reduzieren.

Dtsch Arztebl 2007; 104(48): A 3334–9

Schlüsselwörter: aortokoronare Bypassoperation, operative Myokardrevaskularisation, Mortalität, Outcome, Studie

Ca. 54 000 operative Myokardrevaskularisationen wurden im Jahr 2005 in Deutschland durchgeführt. Seit 2000 zeigt sich jedoch ein rückläufiger Trend (Grafik 1). Grund hierfür ist vor allem die zunehmende Tendenz, die koronare Herzkrankung (KHK) interventionell mittels perkutaner Ballonangioplastie (PTCA) und/oder Stent-Implantation zu therapieren.

Ziel dieser Arbeit ist es, einen Überblick über die modernen operativen Therapieverfahren zur Behandlung der KHK, auf dem Boden einer selektiven Literaturliteraturarbeit, zu geben. Bewusst wird in dieser Übersichtsarbeit nicht auf die zum Teil kontroverse Diskussion der interventionellen Therapie der KHK mit medikamentenbeschichteten Stents (DES = drug eluting stents) eingegangen.

Das Standardverfahren

Die operative Therapie der KHK begann mit der direkten Implantation der Brustwandarterie (Arteria thoracica interna) in das hypoxische Myokard nach Vineberg 1949 (e1) und der Resektion des stenosierten Koronarsegmentes mit nachfolgender Veneninterposition durch Murray 1952 (e2). Nach Einführung der Herz-Lungen-Maschine durch Gibbon 1953 (e3) führte erstmals Favaloro 1967 die Überbrückung von stenosierten

SUMMARY

Modern Therapeutic Strategies for Coronary Artery Bypass Grafting (CABG)

Introduction: The conventional approach to coronary artery bypass grafting using extracorporeal circulation has been the standard for many decades. This review aims to evaluate novel approaches to bypass grafting in cardiac surgery. **Methods:** Selective literature review. **Results/Discussion:** The use of extracorporeal circulation remains the goldstandard in the surgical treatment of coronary heart disease. The use of arterial bypass grafts could replace the use of venous grafts especially in young patients, because of their good long-term patency rate. Aortocoronary bypass grafting without the use of extracorporeal circulation („off-pump“) has fallen short of expectations. However, this type of operation might help to reduce perioperative morbidity in selected patients with extensive comorbidity.

Dtsch Arztebl 2007; 104(48): A 3334–9

Key words: coronary artery bypass grafting, myocardial revascularization, mortality, outcome, study

Koronargefäßen durch Venentransplantate ein (e4). Seit 1971 verwendete Green standardmäßig die Arteria thoracica interna als Bypassgraft (e5). Diese operative Therapie der KHK – das heißt der Gebrauch der linken Arteria thoracica interna in Kombination mit Venentransplantaten unter Verwendung der Herz-Lungen-Maschine – ist auch heute noch weltweit das Standardverfahren in herzchirurgischen Kliniken. Alle neueren Verfahren müssen sich an den Ergebnissen dieses Goldstandards messen.

Historische Überlebensstudien

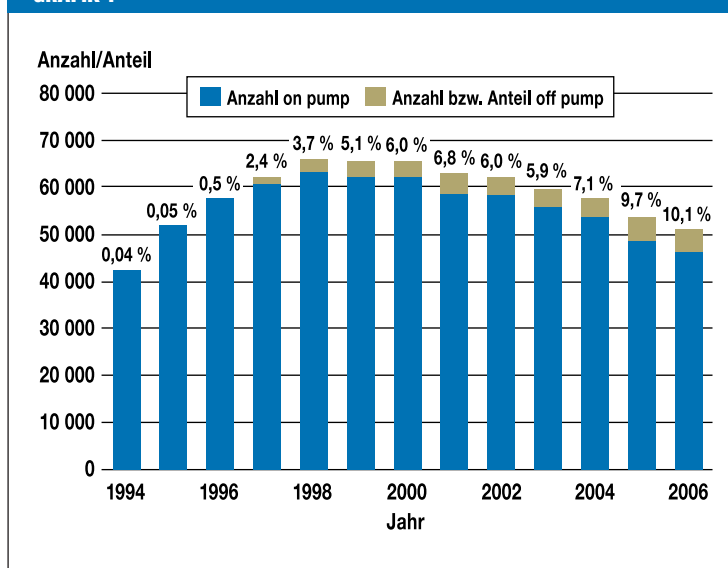
Die CASS-Studie (Coronary Artery Surgery Study) ist eine der frühesten randomisierten Bypassstudien aus den frühen 1970er-Jahren (1). Die Sterblichkeit betrug 1,1 % pro Jahr. Die meisten Patienten dieser Ära bekamen jedoch keine Betablocker, Aspirin oder Statine verabreicht. Nach der Coronary Artery Bypass Graft Surgery Trialists Collaboration aus dem Jahre 1984 betrug die Sterblichkeit 23 % nach 7 Jahren (e6). Bereits 1989 konnten Loop et al. die Anastomose der Arteria thoracica interna auf den Ramus interventricularis anterior als prädiagnostischer Überlebensvorteil im Vergleich zur reinen Verwendung des Venenbypasses nachweisen (2). In einer Metaanalyse von Yusuf et al. 10 Jahre spä-

ter lag die 7-Jahres-Sterblichkeit nur noch bei 16 % (e7). Nach Einführung der perkutanen transluminalen Angioplastie (PTCA) wurde in der BARI-Studie (Bypass Angioplasty Revascularization Investigation) aus dem Jahre 1996 eine 5-Jahres-Sterblichkeit von 10,7 % ermittelt (3). Ein signifikanter Überlebensvorteil der Bypassoperation im Vergleich zur PTCA konnte hier erstmalig bei Patienten mit Diabetes mellitus gefunden werden. In dieser Studie wurde die Arteria thoracica interna zu 82 % benutzt. In der ARTS-Studie (Arterial Revascularization Therapies Study) betrug die 5-Jahres-Sterblichkeit 7,6 % (4). Einen Überblick über die verschiedenen Studien gibt *Tabelle 1*.

Intervention versus Operation

Neben den zum Teil historischen Überlebensstudien der Bypasschirurgie vergleichen größere Studien heute vor allem die interventionelle Therapie mit der operativen Myokardrevaskularisation. Im Jahre 2000 wurden die 8-Jahres-Resultate der EAST-Studie (Emory Angioplasty versus Surgery Trial) vorgestellt (5). Ab 1983 verfolgte man 392 Patienten in einer Single-Center-Studie mit der Randomisierung in transluminale Angioplastie (PTCA) oder Operation. Die Sterblichkeit nach 8 Jahren lag bei 17,3 % und war nicht signifikant unterschiedlich zur PTCA-Therapie mit 20,7 %. Die CABRI-Studie (Coronary Angioplasty versus Bypass Revascularization Investigation) untersuchte als europäische Multi-Center-Studie über 1 000 Patienten über einen Zeitraum von 4 Jahren (6). Die Gesamtsterblichkeit nach der Operation war mit 6,8 % nicht signifikant verschieden von der Sterblichkeit nach PTCA (12,5 %). Das Besondere war jedoch eine Unterscheidung in Patienten mit und ohne Diabetes mellitus. Bei Patienten mit Diabetes stieg die Sterblichkeit nach operativer Myokardrevaskularisation zwar auf 8,1 % an, war nun jedoch signifikant geringer als nach PTCA mit 17,8 %. Die MASS-II-Studie (Medicine, Angioplasty or Surgery Study) untersuchte 611 Patienten randomisiert in medikamentöse Therapie, PTCA oder Operation (e8). Hier konnte kein signifikanter Überlebensvorteil von Operation, PTCA oder rein medikamentöser Therapie nach 5 Jahren gefunden werden (12,6 versus 16,2 versus 15,5 %) (7). Jedoch war die Bypassoperation bezüglich der sekundären Endpunkte (Myokardinfarkt, Revaskularisation, Angina pectoris) der interventionellen und konservativen Therapie überlegen ($p = 0,0026$). In einer Multi-Center-Studie aus Nordamerika von über 10 000 Patienten nach Bypassoperation und über 4 000 Patienten nach PTCA mit einer Langzeitbeobachtung von 8 Jahren zeigten nur Patienten mit koronarer Dreifäßerkrankung einen signifikanten Überlebensvorteil durch die Operation (80,6 versus 76,6 %) (8). Die Studie mit dem längsten Beobachtungszeitraum ist die deutsche GABI-Studie (German Angioplasty Bypass Surgery Investigation) (9). Über 300 Patienten wurden 13 Jahre nach erfolgter Bypassoperation beziehungsweise PTCA untersucht. Die Sterblichkeit betrug 35 % und war nicht signifikant unterschiedlich zur PTCA mit 41 %. In dieser Studie wurde jedoch nur in 37 % der Fälle die Arteria thoracica interna verwendet.

GRAFIK 1



Entwicklung der isolierten Koronarchirurgie in Deutschland zwischen 1994 und 2006 unterteilt in „on pump“- und „off pump“-Eingriffe. Mit Genehmigung der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie

Nach Implantation der ersten Metallstents (BMS = „bare metal stent“) wurden in der argentinischen Multi-Center-Studie ERACI-II 450 Patienten randomisiert in eine BMS- und eine operative Gruppe unterteilt (10). Nach 5 Jahren konnte kein signifikanter Überlebensunterschied gefunden werden (88,4 versus 92,8 %). Neben den Single-Center- und Multi-Center-Studien können Metaanalysen zusätzliche Informationen geben. In einer Metaanalyse von 8 randomisierten Studien mit 1 100 Patienten und einer mittleren Beobachtungszeit von 5 Jahren war die Bypassoperation bezüglich Sterblichkeit, Herzinfarktrate und erneuter Angina pectoris der interventionellen Therapie überlegen (11). Der Nachteil dieser Analyse ist jedoch die Vermengung von minimalinvasiver und konventioneller Operation und von PTCA mit BMS und DES („drug eluting stent“, medikamentenbeschichteter Stent). In einer Cochrane-Analyse war die Bypassoperation der Stent-Implantation bezüglich erneuter Revaskularisation nach 3 Jahren signifikant überlegen, während kein Unterschied bei der Sterblichkeit und der Herzinfarktrate bestand (12).

Seit der Einführung der neueren „drug eluting stents“ (DES) gibt es noch keine größeren Multi-Center-Studien, die DES mit der operativen Myokardrevaskularisation vergleichen. Die beiden noch auszuwertenden Studien ARTS-II und ERACI-III weisen auf eine gleich gute Überlebensrate zwischen Operation und DES hin (e9, e10). Es gibt jedoch auch Kritik an der Vergleichbarkeit, weil in der ARTS-II-Studie die Gruppe der DES mit dem historischen operierten Kollektiv der ARTS-I-Studie verglichen wird.

Ergebnisse sind zurzeit nur von Single-Center-Studien verfügbar. Studien mit einer Laufzeit von 1 Jahr konnten keinen signifikanten Unterschied bezüglich

TABELLE

Randomisierte Studien zum Vergleich operativer Myokardrevaskularisation und perkutaner Intervention

Studie	Referenz	Jahr	Studiendesign	Patienten	Untersuchungszeitraum	Sterblichkeit ACB	Sterblichkeit PCI	Signifikanz	
BARI	(3)	1996	Multi-Center	PTCA vs ACB	1 829 357*1	5 Jahre	10,7 % 19,4 %	13,7 % 34,5 %	nein p < 0,01
EAST	(5)	2000	Single-Center	PTCA vs ACB	392	8 Jahre	17,3 %	20,7 %	nein
CABRI	(6)	2001	Multi-Center	PTCA vs ACB	1 045 125*1	4 Jahre	6,8 % 8,1 %	12,5 % 17,8 %	nein p < 0,001
AWESOME	(23)	2002	Multi-Center	PTCA vs ACB	1 343	5 Jahre	20,0 %	19,0 %	nein
New England Study	(8)	2005	Multi-Center	PTCA vs ACB	14 493	8 Jahre	19,4 %	23,4 %	p < 0,01*2
GABI	(9)	2005	Multi-Center	PTCA vs ACB	359	13 Jahre	35 %	41 %	nein
New York State Registry	(25)	2005	Multi-Center	PTCA vs ACB	37 212	3 Jahre	10,7 %	15,6 %	p < 0,001
MASS-II	(7)	2007	Single-Center	PTCA vs ACB	611	5 Jahre	12,8 %	16,2 %	nein
SOS	(24)	2002	Multi-Center	BMS vs ACB	988	3 Jahre	1,0 %	3,0 %	nein
ERACI-II	(10)	2005	Multi-Center	BMS vs ACB	450	5 Jahre	7,2 %	11,6 %	nein
ARTS	(4)	2005	Multi-Center	BMS vs ACB	1 200	5 Jahre	7,6 %	8,0 %	nein

BARI, Bypass Angioplasty Revascularization Investigation; EAST, Emory Angioplasty Versus Surgery Trial; CABRI, Coronary Angioplasty Versus Bypass Revascularization Investigation; AWESOME, Angina With Extremely Serious Operative Mortality Evaluation; GABI, German Angioplasty Bypass Surgery Investigation; MASS, Medicine Angioplasty or Surgery Study; SOS, Stent or Surgery; ERACI, Argentine Randomized Trial of Percutaneous Transluminal Coronary Angioplasty Versus Coronary Artery Bypass Surgery in Multivessel Disease; ARTS, Arterial Revascularization Therapies Study; ACB, Aortokoronare Bypassoperation; PTCA, Perkutane transluminale Angioplastie; BMS, bare metal stent
*1 Untergruppe mit Diabetes mellitus; *2 nur bei 3-Gefäß-KHK

operativer oder interventioneller Therapie nachweisen (e11, e12). Jedoch war in Single-Center-Studien mit einem Follow-up von 2 beziehungsweise 3 Jahren, bei gleich verteilter Sterblichkeit und Herzinfarkttrate, die Anzahl an erneuter Revaskularisation mit 2,8 beziehungsweise 2,6 % versus 10,4 beziehungsweise 35,5 % signifikant geringer als in der Bypassgruppe (e13, e14). Einen noch deutlicheren Unterschied zeigten Studien, die nur Patienten mit Diabetes mellitus untersucht hatten (e15, e16).

Weiterführende Multi-Center-Studien helfen. Die SYNTAX-Studie (Synergy between percutaneous coronary intervention with Taxus [ein mit Paclitaxel medikamentenbeschichteter Stent namens Taxus] and cardiac surgery) untersucht in einer prospektiven Multi-Center-Studie den Unterschied zwischen DES und Bypassoperation bei geplanten 1 500 Patienten mit koronarer Drei-Gefäß-Erkrankung und begleitender Hauptstammstenose (e17). Die Ergebnisse werden für das Jahr 2012 erwartet. Die FREEDOM-Studie (Future Revascularization Evaluation in Patients with Diabetes Mellitus: Optimal Management of Multivessel Disease) untersucht den Unterschied zwischen multiplen DES-Implantationen im Vergleich zur Bypassoperation bei Diabetikern mit Mehrgefäßerkrankung. Hier werden Ende 2010 die ersten Ergebnisse vorliegen. Nur wenige Ergebnisse gibt es bisher zu der neuesten Generation von bioabsorbierbaren DES, die zwar erfolgreich im akuten Infarkt implantiert werden konnten, deren Restenoserate jedoch gleich des BMS war (13, e18).

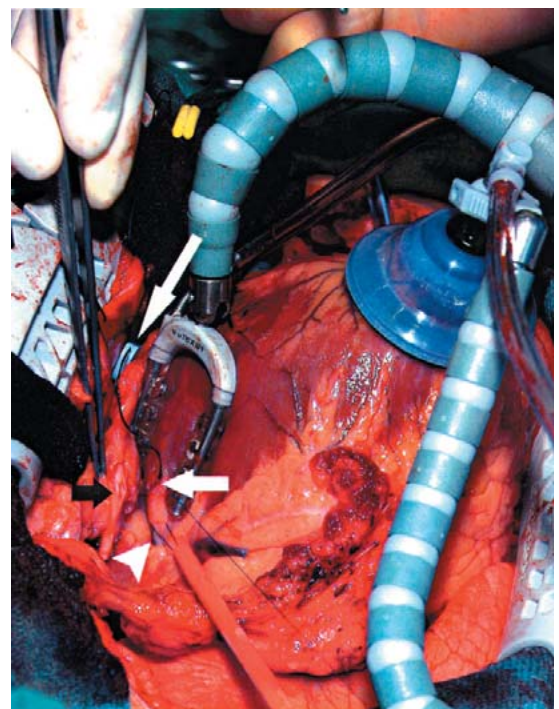


Abbildung: „Off-pump“-Operation ohne Einsatz der Herz-Lungen-Maschine. Die Sauglocke luxiert das Herz nach ventral, während der Octopus-Stabilisator den Ramus interventricularis posterior (kurzer weißer Pfeil) stabilisiert. Die Anastomose erfolgt hier mit der Arteria radialis (schwarzer Pfeil). Der Pfeilkopf zeigt eine temporäre Ligatur des Koronargefäßes bis zur Einführung des Koronarshunts (langer weißer Pfeil).

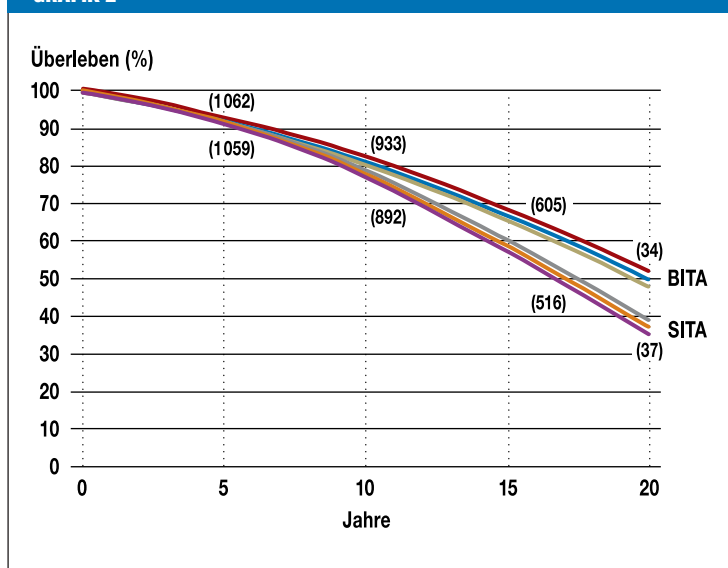
„Off-pump“ versus „on-pump“

Die „off-pump“-Bypassoperation (OPCAB, „off-pump coronary artery bypass grafting“) ist die operative Myokardrevaskularisation ohne Herzstillstand und ohne Einsatz der Herz-Lungen-Maschine. Bereits im Jahr 2003 waren circa 17 % der Operationen in Großbritannien und 21 % derer in den USA „off-pump“ durchgeführt worden. Aus *Grafik 1* ist ersichtlich, dass die Zahlen in Deutschland deutlich niedriger sind. Grundlage dieser Operationstechnik ist die Verwendung von mechanischen Hilfsmitteln, mit denen es möglich ist, das schlagende Herz ohne Beeinträchtigung der Hämodynamik zum einen zu luxieren, zum anderen in Teilbereichen zu stabilisieren. Als Hilfsmittel verwendet man sogenannte Octopus-Stabilisatoren, die durch einen geringen Unterdruck den Anastomosenbereich stabilisieren (*Abbildung*). Die Luxation des Herzens, notwendig zur Versorgung der Hinterwandgefäße, erfolgt mittels einer an der Herzspitze per Vakuum angelegten Saugglocke.

Als potenzielle Vorteile erhofft man sich aufgrund des weniger invasiven Charakters ohne Herz-Lungen-Maschine und Herzstillstand eine niedrigere Morbidität und Sterblichkeit. Es liegen bislang jedoch nur wenige große randomisierte Studien vor. Aktuelle prospektive Daten zeigen, dass beide Techniken (Bypassoperation mit und ohne Einsatz der Herz-Lungen-Maschine) bei Patienten mit Mehrgefäßerkrankung gleiche Überlebensraten zeigen (14, 15). Größere prospektive und retrospektive Studien konnten jedoch eine leichtgradig verminderte Rate an Schlaganfällen in der „off-pump“-Gruppe nachweisen (16, e19). Die Rate an postoperativem Herzinfarkt oder neu aufgetretener Angina pectoris war gleich verteilt (15, e20). In 2 Metaanalysen allerdings konnte eine niedrigere Bypassoffenheit bei Verwendung der „off-pump“-Technik nachgewiesen werden (e21, e22). Es gibt Hinweise darauf, dass gerade ältere Patienten mit zusätzlichen kardiovaskulären Risikofaktoren den größten Benefit einer „off-pump“ durchgeführten Bypassoperation haben (e20, e23, e24). Jedoch muss dies vor dem Hintergrund berücksichtigt werden, dass Patienten, bei denen intraoperativ eine Konversion von „off-pump“ zu „on-pump“ durchgeführt werden musste, eine ausgesprochen hohe Sterblichkeit haben (e25). Bei ausgewählten Patienten kann die Revaskularisierung des Ramus interventricularis anterior mit der linken Arteria thoracica interna in minimalinvasiver Technik (MIDCAB, „minimal invasive direct coronary artery bypass“) über einen seitlichen Zugang durchgeführt werden (e26). Diese Therapieoption hat sich insbesondere bei singulärem Befall des Ramus interventricularis anterior bewährt. Bei älteren komorbiden Patienten mit diffuser Mehrgefäßerkrankung stellt das Vorgehen eine sinnvolle Ergänzung zu einem Hybridverfahren dar. Hierbei erfolgt die chirurgische Revaskularisierung des Ramus interventricularis anterior minimalinvasiv und die Versorgung anderer betroffener Gefäße interventionell (e27).

In Kürze erscheint hier im Deutschen Ärzteblatt ein Übersichtsartikel zu diesem speziellen Thema, sodass hier die Diskussion nicht weiter vertieft wird.

GRAFIK 2

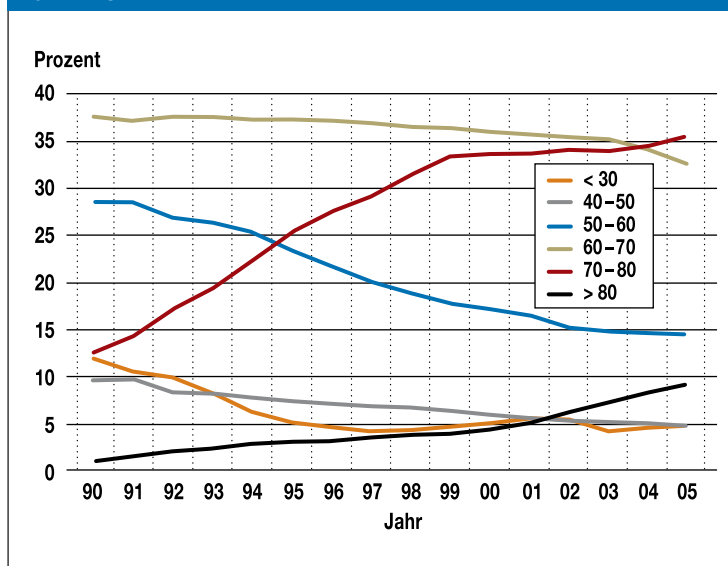


20-Jahres-Überleben bei Verwendung beider Brustwandarterien (BITA = bilateral internal thoracic artery) im Vergleich zur linken Brustwandarterie (SITA = single internal thoracic artery) (18)

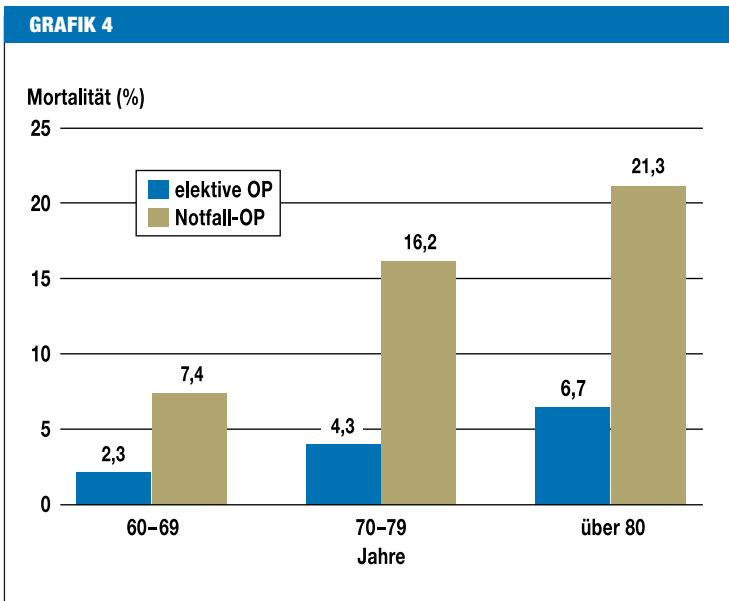
Komplett arterielle Revaskularisation

Während bisher das Standardverfahren der operativen Myokardrevaskularisation die Verwendung der linken Brustwandarterie in Kombination mit Venenbypass aus dem Bein war, treten zunehmend rein arterielle Bypassgrafts in den Vordergrund. Bei Venenbypasses liegt die Verschlussrate, vor allem bedingt durch eine akzelerierte atherosklerotische Degeneration und Intimaproliferation, nach 10 Jahren bei circa 50 %. Die am weitesten verbreitete Operationstechnik ist die Anastomosierung der linken Arteria thoracica interna in situ

GRAFIK 3



Deutliche Zunahme der über 80-Jährigen in herzchirurgischen Kliniken in den letzten Jahren. Mit Genehmigung aus Bruckenberg Herzbericht 2005



Steigende Mortalität mit zunehmenden Alter und Notfallindikation (20)

auf den Ramus interventricularis anterior. Bereits 1986 konnte die hoch signifikant verlängerte Bypassoffenheit bei Verwendung der linken Brustwandarterie im Vergleich zu Venen nachgewiesen werden (97 versus 50 % nach 10 Jahren) (2). In den letzten 20 Jahren werden daher arterielle Gefäße entweder als komplette arterielle Revaskularisation oder in Kombination mit Venenbypasses häufiger verwendet. Während sich alternative arterielle Bypassgrafts aus dem Bauchraum (Arteria epigastrica inferior, Arteria gastroepiploica) aufgrund des notwendigen Zweihöhleneingriffs nicht bewährt haben, ist die Verwendung sowohl der rechten als auch linken Brustwandarterie mit einem deutlichen Überlebensvorteil verbunden (Grafik 2) (17, 18, e28). Da mit beiden Brustwandarterien häufig nur 2 Herzkranzgefäße versorgt werden können, benutzt man heutzutage häufig die Arteria radialis als zusätzliches Bypassgefäß (19, e29). Die Offenheitsrate dieses Bypassgefäßes ist der der Arteria thoracica jedoch nicht überlegen. Gründe sind hier vor allem, dass nicht der Ramus interventricularis das Hauptanschlussgefäß darstellt (e30, e31). Die Offenheitsrate ist jedoch signifikant besser, als bei Verwendung von Venengrafts (19, e32). Hier scheint vor allem die Präparationstechnik der Skelettonisierung im Vergleich zur Präparation als Pedikel Vorteile im Langzeitverlauf zu haben (e33). Bei der Skelettonisierung wird nur das Gefäß entnommen, beim Pedikel entfernt man auch die begleitenden Venen und das Fettgewebe.

Alterschirurgie

Die Anzahl älterer Patienten hat im letzten Jahrzehnt an herzchirurgischen Kliniken stetig zugenommen (Grafik 3). Die Zahl der über 80-Jährigen ist von 2,3 % im Jahr 1994 auf 8,5 % im Jahr 2005 gestiegen (e34). Es stellt sich die Frage, ob dieser Altersanstieg Auswirkungen auf die Sterblichkeit und die Morbidität nach operativer Myokardrevaskularisation hat. In einer verglei-

chenden Studie aus dem Jahr 1999 konnten Carver et al. nachweisen, dass mit zunehmendem Alter die Sterblichkeit signifikant zunimmt (Grafik 4) (20). In einer amerikanischen Multi-Center-Studie von 2000 war die Krankenhaussterblichkeit bei Patienten über 80 Jahre mit 8,3 % signifikant höher als bei jüngeren Patienten mit 3,0 % (e35). Vor allem die Rate an perioperativen Schlaganfällen war bei älteren Patienten deutlich erhöht. Gerade unter dem Aspekt der erhöhten Morbidität der konventionell durchgeführten Bypassoperation mit Verwendung der Herz-Lungen-Maschine versucht die „off-pump“-Operation das Outcome dieser Patientengruppe zu verbessern. Eine Metaanalyse mit 4 921 Patienten aus dem Jahr 2006 konnte bei Patienten über 70 Jahren eine signifikante Reduktion der Sterblichkeit und der Inzidenz von postoperativem Vorhofflimmern nachweisen, wenn Patienten „off-pump“ operiert worden waren (21). In dieser Studie war die Inzidenz eines Schlaganfalls aber nicht unterschiedlich im Vergleich zu konventionell operierten Patienten. Eine ähnliche Arbeit von Jensen et al. konnte keinen Unterschied in der kognitiven Funktion 3 Monate nach „off-pump“- oder „on-pump“-Operation bei Patienten mit einem Durchschnittsalter von 76 Jahren nachweisen (e36). Jedoch konnte man in einer Metaanalyse von 4 475 Patienten über 70 Jahre eine signifikante geringere Inzidenz an Schlaganfällen bei „off-pump“ im Vergleich zur konventionell durchgeführten Bypassoperation (1 versus 3 %) finden (22). In einer großen Studie mit Daten des New York State Departments of Health von über 88 000 Patienten war vor allem die postoperative respiratorische Insuffizienz Ursache eines signifikant verlängerten Krankenhausaufenthalts (14,1 versus 11,5 Tage) und einer erhöhten Sterblichkeit (5,1 versus 2,7 %) bei Patienten über 80 Jahre (e37). In einer ähnlichen Studie war die Sterblichkeit (8 versus 2 %), der Krankenhausaufenthalt (8,7 versus 6,7 Tage) sowie neurologische, pulmonale und renale Komplikationen signifikant häufiger bei Patienten über 80 Jahre (e38). Jedoch erreichen, trotz all dieser Risiken, erfolgreich operierte Patienten verglichen mit Nichtoperierten derselben Altersgruppe eine deutlich verbesserte Lebensqualität bei gleicher Lebenserwartung (e39, e40).

Zusammenfassung

Die Verwendung der Herz-Lungen-Maschine zur aortokoronaren Bypassoperation ist immer noch Goldstandard. Operationsmethoden ohne extrakorporale Zirkulation haben die Erwartungen teilweise nicht erfüllt. In den meisten Studien konnte kein Vorteil bezüglich Überleben oder Komplikationen im Vergleich zur konventionell durchgeführten Operation erzielt werden. Die Daten zur Bypassoffenheit der „off-pump“-Operation sind kritisch und mit Vorsicht zu sehen. Da jedoch die konventionelle Operation gerade bei der wachsenden Zahl an älteren Patienten deutlich erhöhte Risiken aufweist, liegt hier vielleicht die Zukunft der „off-pump“-Operation. Im Vergleich zur interventionellen Stent-implantation und den neueren medikamentenbeschichteten Stents ist die Datenlage noch nicht eindeutig zu be-

werten. Die Ergebnisse größerer Studien, die die Stent-Implantation mit der komplett arteriellen Revaskularisation vergleichen, werden erst in mehreren Jahren vorliegen.

Die Verwendung rein arterieller Bypassgefäße (beide Brustwandarterien, Arteria radialis) wird die Langzeit-Bypassoffenheit weiter optimieren.

Interessenkonflikt

Die Autoren erklären, dass kein Interessenkonflikt im Sinne des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

Manuskriptdaten

eingereicht: 9. 5. 2007, revidierte Fassung angenommen: 23. 7. 2007

LITERATUR

1. Coronary artery surgery study (CASS): a randomized trial of coronary artery bypass surgery. Survival data. *Circulation* 1983; 68: 939–50.
2. Loop FD, Lytle BW, Cosgrove DM et al.: Influence of the internal-mammary-artery graft on 10-year survival and other cardiac events. *N Engl J Med* 1986; 314: 1–6.
3. Comparison of coronary bypass surgery with angioplasty in patients with multivessel disease. The Bypass Angioplasty Revascularization Investigation (BARI). *N Engl J Med* 1996; 335: 217–25.
4. Serruys PW, Ong AT, van Herwerden LA et al.: Five-year outcomes after coronary stenting versus bypass surgery for the treatment of multivessel disease: the final analysis of the Arterial Revascularization Therapies Study (ARTS) randomized trial. *J Am Coll Cardiol* 2005; 46: 575–81.
5. King SB, Kosinski AS, Guyton RA, Lembo NJ, Weintraub WS: Eight-year mortality in the Emory Angioplasty versus Surgery Trial (EAST). *J Am Coll Cardiol* 2000; 35: 1116–21.
6. Kurbaan AS, Bowker TJ, Ilsley CD, Sigwart U, Rickards AF: Difference in the mortality of the CABRI diabetic and nondiabetic populations and its relation to coronary artery disease and the revascularization mode. *Am J Cardiol* 2001; 87: 947–50.
7. Hueb W, Lopes NH, Gersh BJ et al.: Five-year follow-up of the Medicine, Angioplasty, or Surgery Study (MASS II): a randomized controlled clinical trial of 3 therapeutic strategies for multivessel coronary artery disease. *Circulation* 2007; 115: 1082–9.
8. Malenka DJ, Leavitt BJ, Hearne MJ et al.: Comparing long-term survival of patients with multivessel coronary disease after CABG or PCI: analysis of BARI-like patients in northern New England. *Circulation* 2005; 112: 371–6.
9. Kaehler J, Koester R, Billmann W et al.: 13-year follow-up of the German angioplasty bypass surgery investigation. *Eur Heart J* 2005; 26: 2148–53.
10. Rodriguez AE, Baldi J, Fernandez PC et al.: Five-year follow-up of the Argentine randomized trial of coronary angioplasty with stenting versus coronary bypass surgery in patients with multiple vessel disease (ERACI II). *J Am Coll Cardiol* 2005; 46: 582–8.
11. Boodhwani M, Rubens FD, Sellke FW, Mesana TG, Ruel M: Mortality and myocardial infarction following surgical versus percutaneous revascularization of isolated left anterior descending artery disease: a meta-analysis. *Eur J Cardiothorac Surg* 2006; 29: 65–70.
12. Bakhai A, Hill RA, Dundar Y, Dickson R, Walley T: Percutaneous transluminal coronary angioplasty with stents versus coronary artery bypass grafting for people with stable angina or acute coronary syndromes. *Cochrane Database Syst Rev* 2005; 1: CD004588.
13. Erbel R, Di MC, Bartunek J et al.: Temporary scaffolding of coronary arteries with bioabsorbable magnesium stents: a prospective, non-randomized multicentre trial. *Lancet* 2007; 369: 1869–75.
14. Legare JF, Buth KJ, King S et al.: Coronary bypass surgery performed off pump does not result in lower in-hospital morbidity than coronary artery bypass grafting performed on pump. *Circulation* 2004; 109: 887–92.

15. Khan NE, De SA, Mister R et al.: A randomized comparison of off-pump and on-pump multivessel coronary-artery bypass surgery. *N Engl J Med* 2004; 350: 21–8.
16. Sellke FW, DiMaio JM, Caplan LR et al.: Comparing on-pump and off-pump coronary artery bypass grafting: numerous studies but few conclusions: a scientific statement from the American Heart Association council on cardiovascular surgery and anesthesia in collaboration with the interdisciplinary working group on quality of care and out-comes research. *Circulation* 2005; 111: 2858–64.
17. Rankin JS, Tuttle RH, Wechsler AS, Teichmann TL, Glower DD, Califf RM: Techniques and benefits of multiple internal mammary artery bypass at 20 years of follow-up. *Ann Thorac Surg* 2007; 83: 1008–15.
18. Lytle BW, Blackstone EH, Sabik JF, Houghtaling P, Loop FD, Cosgrove DM: The effect of bilateral internal thoracic artery grafting on survival during 20 postoperative years. *Ann Thorac Surg* 2004; 78: 2005–12.
19. Desai ND, Naylor CD, Kiss A et al.: Impact of patient and target-vessel characteristics on arterial and venous bypass graft patency: insight from a randomized trial. *Circulation* 2007; 115: 684–91.
20. Craver JM, Puskas JD, Weintraub WW et al.: 601 octogenarians undergoing cardiac surgery: outcome and comparison with younger age groups. *Ann Thorac Surg* 1999; 67: 1104–10.
21. Panesar SS, Thakrar R, Athanasiou T, Sheikh A: Comparison of reports of randomized controlled trials and systematic reviews in surgical journals: literature review. *J R Soc Med* 2006; 99: 470–2.
22. Athanasiou T, Al-Ruzzeq S, Kumar P et al.: Off-pump myocardial revascularization is associated with less incidence of stroke in elderly patients. *Ann Thorac Surg* 2004; 77: 745–53.
23. Morrison DA, Sethi G, Sacks J et al.: Percutaneous coronary intervention versus coronary bypass graft surgery for patients with medically refractory myocardial ischemia and risk factors for adverse outcomes with bypass: The VA AWESOME multicenter registry: comparison with the randomized clinical trial. *J Am Coll Cardiol* 2002; 39: 266–73.
24. Coronary artery bypass surgery versus percutaneous coronary intervention with stent implantation in patients with multivessel coronary artery disease (the Stent or Surgery trial): a randomized controlled trial. *Lancet* 2002; 360: 965–70.
25. Hannan EL, Racz MJ, Walford G et al.: Long-term outcomes of coronary-artery by-pass grafting versus stent implantation. *N Engl J Med* 2005; 352: 2174–83.

Anschrift für die Verfasser

PD Dr. med. Stefan Klotz
 Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
 Universitätsklinikum Münster
 Albert-Schweitzer-Straße 33
 48149 Münster
 E-Mail: stefan.klotz@ukmuenster.de



The English version of this article is available online:
www.aerzteblatt.de/english

Mit „e“ gekennzeichnete Literatur:
www.aerzteblatt.de/lit4807

ÜBERSICHTSARBEIT

Moderne Verfahren in der operativen Myokardrevaskularisation

Stefan Klotz, Hans H. Scheld

LITERATUR INTERNET

- e1. Vineberg AM, Miller WD: An experimental study of the physiological role of an anastomosis between the left coronary circulation and the left internal mammary artery implanted in the left ventricular myocardium. *Surg Forum* 1950; 294–9.
- e2. Murray G, Hilario J, Porcheron R, Roschlau W: Surgery of coronary heart disease. *Angiology* 1953; 4: 526–31.
- e3. Boettcher W, Merkle F, Weitkemper HH: History of extracorporeal circulation: the invention and modification of blood pumps. *J Extra Corpor Technol* 2003; 35: 184–91.
- e4. Favaloro RG: Saphenous vein autograft replacement of severe segmental coronary artery occlusion: operative technique. *Ann Thorac Surg* 1968; 5: 334–9.
- e5. Green GE: Rate of blood flow from the internal mammary artery. *Surgery* 1971; 70: 809–13.
- e6. Eleven-year survival in the Veterans Administration randomized trial of coronary bypass surgery for stable angina. The Veterans Administration Coronary Artery Bypass Surgery Cooperative Study Group. *N Engl J Med* 1984; 311: 1333–9.
- e7. Yusuf S, Zucker D, Chalmers TC: Ten-year results of the randomized control trials of coronary artery bypass graft surgery: tabular data compiled by the collaborative effort of the original trial investigators. Part 1 of 2. *Online J Curr Clin Trials* 1994; Doc No 145: 3987.
- e8. Hueb W, Soares PR, Gersh BJ et al.: The medicine, angioplasty, or surgery study (MASS-II): a randomized, controlled clinical trial of three therapeutic strategies for multivessel coronary artery disease: one-year results. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43: 1743–51.
- e9. Rodriguez AE, Mieres J, Fernandez-Pereira C et al.: Coronary stent thrombosis in the current drug-eluting stent era: insights from the ERACI III trial. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 205–7.
- e10. Serruys PW, Lemos PA, van Hout BA: Sirolimus eluting stent implantation for patients with multivessel disease: rationale for the Arterial Revascularisation Therapies Study part II (ARTS II). *Heart* 2004; 90: 995–8.
- e11. Chieffo A, Morici N, Maisano F et al.: Percutaneous treatment with drug-eluting stent implantation versus bypass surgery for unprotected left main stenosis: a single-center experience. *Circulation* 2006; 113: 2542–7.
- e12. Lee MS, Kapoor N, Jamal F et al.: Comparison of coronary artery bypass surgery with percutaneous coronary intervention with drug-eluting stents for unprotected left main coronary artery disease. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 864–70.
- e13. Yang ZK, Shen WF, Zhang RY et al.: Coronary artery bypass surgery versus percutaneous coronary intervention with drug-eluting stent implantation in patients with multivessel coronary disease. *J Interv Cardiol* 2007; 20: 10–6.
- e14. Palmerini T, Marzocchi A, Marrozzini C et al.: Comparison between coronary angioplasty and coronary artery bypass surgery for the treatment of unprotected left main coronary artery stenosis (the Bologna Registry). *Am J Cardiol* 2006; 98: 54–9.
- e15. Ben-Gal Y, Moshkovitz Y, Neshet N et al.: Drug-eluting stents versus coronary artery bypass grafting in patients with diabetes mellitus. *Ann Thorac Surg* 2006; 82: 1692–7.
- e16. Lee MS, Jamal F, Kedia G et al.: Comparison of bypass surgery with drug-eluting stents for diabetic patients with multivessel disease. *Int J Cardiol* 2007.
- e17. Ong AT, Serruys PW, Mohr FW et al.: The SYNergy between percutaneous coronary intervention with TAXus and cardiac surgery (SYNTAX) study: design, rationale, and run-in phase. *Am Heart J* 2006; 151: 1194–204.
- e18. Lee CH, Lim J, Low A et al.: Sirolimus-Eluting, Bioabsorbable Polymer-Coated Constant Stent (Cura(R)) in Acute ST-Elevation Myocardial Infarction: A Clinical and Angiographic Study (CURAMI Registry). *J Invasive Cardiol* 2007; 19: 182–5.
- e19. Sabik JF, Blackstone EH, Lytle BW, Houghtaling PL, Gillinov AM, Cosgrove DM: Equivalent midterm outcomes after off-pump and on-pump coronary surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; 127: 142–8.
- e20. Racz MJ, Hannan EL, Isom OW et al.: A comparison of short- and long-term outcomes after off-pump and on-pump coronary artery bypass graft surgery with sternotomy. *J Am Coll Cardiol* 2004; 43: 557–64.
- e21. Lim E, Drain A, Davies W, Edmonds L, Rosengard BR: A systematic review of randomized trials comparing revascularization rate and graft patency of off-pump and conventional coronary surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 132: 1409–13.
- e22. Takagi H, Tanabashi T, Kawai N, Kato T, Umemoto T: Off-pump coronary artery bypass sacrifices graft patency: meta-analysis of randomized trials. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2007; 133: e2–3.
- e23. Magee MJ, Coombs LP, Peterson ED, Mack MJ: Patient selection and current practice strategy for off-pump coronary artery bypass surgery. *Circulation* 2003; 108 Suppl 1: I19–14.
- e24. Al-Ruzzeh S, Ambler G, Asimakopoulos G et al.: Off-Pump Coronary Artery Bypass (OPCAB) surgery reduces risk-stratified morbidity and mortality: a United Kingdom Multi-Center Comparative Analysis of Early Clinical Outcome. *Circulation* 2003; 108 Suppl 1: I11–I18.
- e25. Patel NC, Patel NU, Loulmet DF, McCabe JC, Subramanian VA: Emergency conversion to cardiopulmonary bypass during attempted off-pump revascularization results in increased morbidity and mortality. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; 128: 655–61.
- e26. Kettering K, Dapunt O, Baer FM: Minimally invasive direct coronary artery bypass grafting: a systematic review. *J Cardiovasc Surg* 2004; 45: 255–64.
- e27. Amodeo VJ, Donias HW, Dancona G, Hoover EL, Karamanoukian HL: The hybrid approach to coronary artery revascularization: minimally invasive direct coronary artery bypass with percutaneous coronary intervention. *Angiology* 2002; 53: 665–9.
- e28. Damgaard S, Steinbruchel DA, Kjaergard HK: An update on internal mammary artery grafting for coronary artery disease. *Curr Opin Cardiol* 2005; 20: 521–4.
- e29. Gardner TJ: Searching for the second-best coronary artery bypass graft: is it the radial artery? *Circulation* 2007; 115: 678–80.
- e30. Crusco F, Antoniella A, Papa V et al.: Midterm follow-up of patients receiving radial artery as coronary artery bypass grafts using 16-detector CT coronary angiography. *Radiol Med (Torino)* 2007; 12: 538–49.
- e31. Bonacchi M, Prifti E, Maiani M et al.: Perioperative and clinical-angiographic late outcome of total arterial myocardial revascularization according to different composite original graft techniques. *Heart Vessels* 2006; 21: 69–77.
- e32. Desai ND, Cohen EA, Naylor CD, Fremes SE: A randomized comparison of radial artery and saphenous-vein coronary bypass grafts. *N Engl J Med* 2004; 351: 2302–9.

- e33. Miyagi N, Oshima N, Shirai T, Sunamori M: Skeletonized harvesting improves the early-term and mid-term perfect patency of a radial artery graft. *Jpn J Thorac Cardiovasc Surg* 2006; 54: 472–6.
- e34. DGTHG: Leistungsstatistik der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, 2005.
- e35. Alexander KP, Anstrom KJ, Muhlbaier LH et al.: Outcomes of cardiac surgery in patients $>$ or $=$ 80 years: results from the National Cardiovascular Network. *J Am Coll Cardiol* 2000; 35: 731–8.
- e36. Jensen BO, Hughes P, Rasmussen LS, Pedersen PU, Steinbruchel DA: Cognitive outcomes in elderly high-risk patients after off-pump versus conventional coronary artery bypass grafting: a randomized trial. *Circulation* 2006; 113: 2790–5.
- e37. Bardakci H, Cheema FH, Topkara VK et al.: Discharge to home rates are significantly lower for octogenarians undergoing coronary artery bypass graft surgery. *Ann Thorac Surg* 2007; 83: 483–9.
- e38. Johnson WM, Smith JM, Woods SE, Hendy MP, Hiratzka LF: Cardiac surgery in octogenarians: does age alone influence outcomes? *Arch Surg* 2005; 140: 1089–93.
- e39. Peterson ED, Cowper PA, Jollis JG et al.: Outcomes of coronary artery bypass graft surgery in 24 461 patients aged 80 years or older. *Circulation* 1995; 92: 1185–91.
- e40. Potger KC, McMillan D, Connolly T, Southwell J, Dando H, O'Shaughnessy K: Coronary artery bypass grafting: an off-pump versus on-pump review. *J Extra Corpor Technol* 2002; 34: 260–6.