

C. SCHMID

Leitfaden **Erwachsenen-** **herzchirurgie**

Zweite, überarbeitete und erweiterte Auflage

MIT 17 FARBIGEN ABBILDUNGEN UND 15 TABELLEN

STEINKOPFF

DARMSTADT

Prof. Dr. med. CHRISTOF SCHMID

Klinik und Poliklinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie
Universität Münster, Albert-Schweitzer-Straße 33
D-48129 Münster

ISBN 3-7985-1561-1 Steinkopff Verlag Darmstadt

Bibliografische Information Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der
Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten
sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Steinkopff Verlag Darmstadt
ein Unternehmen von Springer Science+Business Media
www.springer.steinkopff.de

© Steinkopff Verlag Darmstadt 2002, 2007
Printed in Germany

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Produkthaftung: Für Angaben über Dosierungsanweisungen und Applikationsformen kann vom Verlag keine Gewähr übernommen werden. Derartige Angaben müssen vom jeweiligen Anwender im Einzelfall anhand anderer Literaturstellen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.

Redaktion: Dr. Annette Gasser Herstellung: Klemens Schwind
Zeichnungen: Angela Haas
Umschlaggestaltung: Erich Kirchner, Heidelberg
Satz: K+V Fotosatz GmbH, Beerfelden

SPIN 11557135 85/7231-5 4 3 2 1 0 – Gedruckt auf säurefreiem Papier

Vorwort zur 2. Auflage

Knapp und prägnant, aber doch wissenschaftlich fundiert und mit den entsprechenden Literaturstellen versehen soll der „Leitfaden Erwachsenenherzchirurgie“ in die Kitteltasche eines Assistenten passen. Bewusst kurz gehalten wurde daher der diagnostische Bereich, da er eine Domäne der Kardiologie ist. Der inhaltliche Schwerpunkt liegt in der Indikationsstellung, dem operationstechnischen Vorgehen und den zugrunde liegenden anatomisch-pathologischen Veränderungen sowie den Komplikationen und Problemen im Langzeitverlauf. Als Hilfe bei der Aufklärung der Patienten wurden Ergebnisse und Komplikationen auch in Zahlen zusammengefasst. Neu in der 2. Auflage sind das Kapitel Endokarditis und die Abschnitte zum minimal invasiven Klappenersatz sowie zu endo- und epikardialen Ablationstechniken. Erweitert wurde der Abschnitt der Aortenchirurgie.

Angelehnt an die Münsteraner Herzchirurgie erhebt das Buch keinen Anspruch darauf, alle chirurgischen Optionen in ihrer Wertigkeit korrekt darzustellen, da für weite Bereiche der Herzchirurgie bislang mehr Individualität als Standards vorherrschen. Vieles bleibt dem „Künstler“ überlassen, so lange das Ergebnis stimmt. Nichtsdestotrotz freue ich mich über die große Verbreitung der 1. Auflage und über den Ruf nach einer Neuauflage, dem ich gerne nachgekommen bin.

Da das Buch der Weiterbildung dienen soll, und damit pädagogischen Kriterien standhalten muss, ist konstruktive Kritik jederzeit herzlich willkommen. Nur durch ein entsprechendes Feedback kann das Buch verbessert werden.

Münster, im August 2006

CHRISTOF SCHMID

Geleitwort zur 1. Auflage

Dieses Buch reflektiert das herzchirurgische Vorgehen am Universitätsklinikum Münster. Das Gebiet der Herzchirurgie ist in einem ständigen Fluss – es ist gewachsen und unsere Behandlungsfälle werden immer komplexerer Natur. Vor diesem Hintergrund war es wichtig, ein echtes Taschenbuch für die jüngeren Assistenten zu schreiben.

Mein Dank gilt daher Herrn Professor Dr. Schmid, der sich die Zeit genommen hat, dem herzchirurgischen Nachwuchs dieses Buch als Leitfaden an die Hand zu geben. Es soll dem Anfänger helfen, den klinischen Alltag zu meistern, und gehört daher in die Kitteltasche eines jeden Assistenten, der sich in der herzchirurgischen Ausbildung befindet.

Besondere Aufmerksamkeit hat der Autor auch nützlichen Literaturstellen gewidmet, durch die der Leser durch weitere Studien sein Wissen vertiefen kann. Das Buch soll dem angehenden Herzchirurgen auch die besonderen Operationstücken vor Augen führen. Naturgemäß sind die inhaltlichen Schwerpunkte der Herzchirurgie gewidmet; Kardiologie, Diagnostik und ebenso das perioperative Management sind bewusst kurzgehalten, um den Rahmen nicht zu sprengen. Wert gelegt wurde auch besonders auf die historischen Erstbeschreiber der verschiedenen Operationsverfahren, die nahezu alle mit ihrer Originalarbeit zitiert wurden.

Der Band wendet sich in erster Linie an alle herzchirurgischen Mitarbeiter im ärztlichen Bereich, will aber auch gerne die Mitarbeiter der Nachbardisziplinen und der Krankenpflege ansprechen, Verbesserungsvorschläge für die nächste Auflage nehmen wir dankbar entgegen.

Herzlicher Dank und Anerkennung gebührt Frau Angela Haas für die hervorragenden Abbildungen und den Kollegen, die durch ihre Überarbeitungsvorschläge wesentlich zum Gelingen des Buches beigetragen haben.

Münster, im Februar 2002

H. H. SCHELD

Inhaltsverzeichnis

1	Extrakorporale Zirkulation und Myokardprotektion	1
1.1	Antikoagulation	2
1.2	Kanülierung	4
1.3	Kardioplegie	7
1.4	Hypothermie	11
1.5	Beendigung der extrakorporalen Zirkulation	12
1.6	Probleme/Komplikationen	14
2	Koronarchirurgie	17
2.1	Anatomie/Pathologie	18
2.2	Operationsindikation	19
2.3	Operationsverfahren	21
2.3.1	Koronarchirurgie mit Herz-Lungen-Maschine	24
2.3.2	Koronarchirurgie ohne Herz-Lungen-Maschine	26
2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	31
2.5	Ergebnisse	33
2.6	Komplikationen der KHK	34
2.6.1	Myokardruptur	35
2.6.2	Ventrikelseptumdefekt (VSD)	36
2.6.3	Linksventrikuläres Aneurysma	38
2.7	Koronarfisteln	39

3	Herzklappenchirurgie	41
3.1	Aortenklappenvitien	43
3.1.1	Anatomie/Pathologie	43
3.1.2	Operationsindikation	44
3.1.3	Operationsverfahren	45
3.1.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	51
3.1.5	Ergebnisse	53
3.2	Mitralklappenitien	54
3.2.1	Anatomie/Pathologie	54
3.2.2	Operationsindikation	57
3.2.3	Operationsverfahren	58
3.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	66
3.2.5	Ergebnisse	67
3.3	Trikuspidalklappenitien	68
3.3.1	Anatomie/Pathologie	68
3.3.2	Operationsindikation	69
3.3.3	Operationsverfahren	69
3.3.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	71
3.3.5	Ergebnisse	71
3.4	Mehrfachklappeneingriff	72
3.5	Gerüstfreie Klappen	72
3.5.1	Homograft/Stentlessklappe	72
3.5.2	Ross-Operation	76
3.6	Endokarditis	77
3.6.1	Operationsindikation	77
3.6.2	Operationsverfahren	80
3.6.3	Intraoperative Probleme/Komplikationen	80
3.6.4	Ergebnisse	80

4	Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie (HOCM)	83
4.1	Anatomie/Pathologie	83
4.2	Operationsindikation	84
4.3	Operationsverfahren	84
4.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	85
4.5	Alternative Therapieverfahren	85
4.6	Ergebnisse	86
5	Aorten Chirurgie	87
5.1	Thorakale Aortenaneurysmen	87
5.1.1	Anatomie/Pathologie	88
5.1.2	Operationsindikation	90
5.1.3	Operationsverfahren	91
5.1.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	102
5.1.5	Ergebnisse	103
5.2	Aortendissektion	104
5.2.1	Anatomie/Pathologie	104
5.2.2	Operationsindikation	106
5.2.3	Operationsverfahren	107
5.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	109
5.2.5	Ergebnisse	110
5.3	Marfan-Syndrom	111
5.4	Sinus-valsalva-Aneurysma	113
5.5	Traumatische Aortenruptur	115
6	Herzinsuffizienzchirurgie	117
6.1	Konservative Hochrisikochirurgie	117
6.2	Biventrikuläre Schrittmacherimplantation	118
6.3	Linksventrikuläre Resektionsverfahren	119

7	Mechanische Kreislaufunterstützung	123
7.1	Anatomie/Pathologie	123
7.2	Operationsindikation	124
7.3	Unterstützungssysteme	126
7.4	Operationsverfahren	131
7.5	Intraoperative Probleme/Komplikationen	135
7.6	Ergebnisse	138
8	Herztransplantation	141
8.1	Anatomie/Pathologie	141
8.2	Operationsindikation	142
8.3	Operationsverfahren	143
8.3.1	Spenderoperation	143
8.3.2	Orthotope Transplantation	144
8.3.3	Heterotope Transplantation	146
8.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	146
8.5	Ergebnisse	148
9	Rhythmuschirurgie	151
9.1	Herzschrittmacherimplantation	151
9.1.1	Anatomie/Pathologie	152
9.1.2	Operationsindikation	152
9.1.3	Operationsverfahren	158
9.1.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	159
9.1.5	Ergebnisse	159
9.2	Defibrillatorimplantation (ICD)	160
9.2.1	Anatomie/Pathologie	160
9.2.2	Operationsindikation	160
9.2.3	Operationsverfahren	162
9.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	162
9.2.5	Ergebnisse	163

9.3	Ablation von Vorhofflimmern	163
9.3.1	Anatomie/Pathologie	164
9.3.2	Operationsindikation	164
9.3.3	Operationsverfahren	165
9.3.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	167
9.3.5	Ergebnisse	167
9.4	Ablation von Kammertachykardien	168
9.4.1	Anatomie/Pathologie	168
9.4.2	Operationsindikation	168
9.4.3	Operationsverfahren	169
9.4.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	170
9.4.5	Ergebnisse	170
10	Sonstige Eingriffe	171
10.1	Herztumoren	171
10.1.1	Anatomie/Pathologie	171
10.1.2	Operationsindikation	171
10.1.3	Operationsverfahren	172
10.1.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	172
10.1.5	Ergebnisse	172
10.2	V.-cava-Tumoren	173
10.2.1	Anatomie/Pathologie	173
10.2.2	Operationsindikation	173
10.2.3	Operationsverfahren	173
10.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	174
10.2.5	Ergebnisse	174
10.3	Lungenembolie	175
10.3.1	Anatomie/Pathologie	175
10.3.2	Operationsindikation	176
10.3.3	Operationsverfahren	177
10.3.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	177
10.3.5	Ergebnisse	178

■	Anhang	179
1	Klappentypen	179
2	Kardioplegielösungen	182
3	Extrakorporale Zirkulation bei HIT	184
4	Formeln	185
■	Literaturverzeichnis	189
■	Sachverzeichnis	201

KAPITEL 1 Extrakorporale Zirkulation und Myokardprotektion

Nahezu alle herzchirurgischen Eingriffe erfordern den Einsatz der extrakorporalen Zirkulation in Form einer Herz-Lungen-Maschine. Ihre Aufgabe besteht darin, das venöse Blut zu sammeln und mit Sauerstoff anzureichern, und nachfolgend das arterialisierte Blut wieder dem Körper zurückzuführen. Die erste Maschine, die Blut ohne Unterbrechung des Blutflusses oxygenieren konnte, wurde von von Frey u. Gruber [149] bereits 1885 konzipiert. Die Idee, diese Technik für die Herzchirurgie zu nutzen, wird Brukhonenko [19] zugeschrieben, zum klinischen Einsatz kam sie aber erst 1953 durch Gibbon [79].

In den gegenwärtigen Herz-Lungen-Maschinen-Systemen erfolgt die venöse Drainage passiv, d.h. durch Schwerkraft (Höhe des venösen Reservoirs im Vergleich zum Patienten), oder aktiv durch Sog (maximal 60 mmHg). Das sich im venösen Reservoir sammelnde Blut wird über eine Roller- oder Zentrifugalpumpe einem Membranoxygenator zugeführt und gelangt nach Passage eines 40- μm -Filters zur arteriellen Kanüle. Angestrebt wird ein Pumpvolumen von 2,4 l/min/m². Aufgrund der zerebralen Autoregulation, welche die Durchblutung des Gehirns bei einem arteriellen Blutdruck von 50–150 mmHg weitgehend konstant hält, und der Senkung des Hirnstoffwechsels um bis zu 40% unter Narkose ist bei Normothermie oder leichter Hypothermie ein Perfusionsdruck von 40–60 mmHg sinnvoll. Bei älteren Hypertonikern und bei Patienten mit erheblichen Karotisstenosen ist man allerdings geneigt, den Perfusionsdruck höher zu halten, um zerebralen ischämischen Komplikationen besser vorzubeugen.

Mit der Herz-Lungen-Maschine ist in der Regel ein Wärmeaustauscher verbunden, der ein Abkühlen und Wiedererwärmen des Patienten erlaubt. Zwischen 22 und 37°C bleibt die zerebrale Durchblutung wiederum aufgrund der Autoregulation weitgehend konstant, unter 22°C fällt sie bis auf 15% ab. Daher kann die Flussrate der Herz-Lungen-Maschine ab einer Temperatur von 28°C auf etwa 1,5 l/min/m² und bei noch tieferen Temperaturen noch weiter gesenkt werden.

Die Nebenwirkungen der extrakorporalen Zirkulation sind mannigfaltig. Ihr Einsatz bedingt eine Vollheparinisierung, eine Hämodilution, einen nichtpulsatilen Fluss sowie eine Hypothermie. Blut erhält Kontakt zu nichtepithelialen Oberflächen, insbesondere im Oxygenator, und ist abnormen Scherkräften ausgesetzt. Hierdurch werden alle korpuskulären Blutelemente und Proteine mehr oder weniger in Mitleidenschaft gezogen. Klinisch bedeutsam sind die Hämolyse der Erythrozyten, die Degranulierung und Verklumpung der Thrombozyten, wodurch deren Zahl und Integrität abnehmen, die Stimulation der Gerinnungs- und Fibrinolysekaskaden, die Aktivierung des Komplementsystems sowie die Freisetzung inflammatorischer Substanzen, welche zu einem SIRS („systemic inflammatory response syndrome“) führen können (Postperfusionssyndrom). Welchen Stellenwert die nichtpulsatile Perfusion hat, ist bislang unklar. Es wird vermutet, dass ein pulsatiler Fluss, der aber nur mit wenigen Herz-Lungen-Maschinen möglich ist, zu einer geringeren Vasokonstriktion und damit besseren Mikrozirkulation und zu einer verminderten Ödemneigung führt.

1.1 Antikoagulation

Normalerweise erfolgt sie mit Heparin mit 300–400 IE/kg entsprechend einer Vollheparinisierung. Intraoperativ wird sie durch die ACT („activated clotting time“) gesteuert, wobei 350–450 s als ausreichend angesehen werden. Nach Beendigung der extrakorporalen Zirkulation erfolgt eine 1:1-Antagonisierung des Heparins mit Protamin, die ACT normalisiert sich auf Werte von etwa 120 s.

Patienten mit einem HIT-II-Syndrom (heparininduzierte Thrombozytopenie) dürfen kein Heparin erhalten, da sie Antikörper haben, welche Thrombozyten in Gegenwart von Heparin oder anderen hoch sulfatierten Oligosacchariden aktivieren. In 75% der Fälle ist der Heparinplättchenfaktor 4 (H-PF4) das ursächliche Antigen. Der Antikörper, zumeist ein IgG, erkennt den H-PF4 und aktiviert die Thrombozyten über den Fc-Rezeptor, wodurch die Thrombozytenaggregation entsteht. Typischerweise treten nach 4–14 Tagen ein Abfall der Thrombozyten (in der Regel $\ll 100\,000/\mu\text{l}$) und Thrombembolien auf. Eine Antikoagulation ist bei uns derzeit nur mit einem Antifaktor Xa-Präparat (Danaparoid, Orgaran®) und mit direkten Thrombininhibitoren (Lepirudin, Refludan®, und Argatroban, Argatra®) möglich. Die ersten beiden Substanzen sind aufgrund ihrer langen Halbwertszeiten schlecht steuerbar. Das Argatroban hat eine Halbwertszeit von nur 52 min. Bei allen 3 Substanzen ist eine dem Heparin vergleichbare Antagonisierung nicht möglich. Vermehrte Blutungskomplikationen sind die Folge. Beim Orgaran können lediglich Faktor-Xa-Spiegel (angestrebt: 1,2–1,5 antiFXa-E/ml) bestimmt werden, während Hirudinderivate nur durch eine Bestimmung der Ecarinzeit gut steuerbar sind. Eine Steuerung der Hirudinderivate mittels PTT wird zwar vielerorts versucht, die Ergebnisse sind aber nicht zufrieden stellend. Argatroban kann ebenfalls über die PTT gesteuert werden, weswegen die noch junge Substanz – auch aufgrund ihrer kurzen Halbwertszeit – vermutlich in Zukunft bevorzugt wird.

Haben die Patienten lediglich eine HIT-II-Anamnese, aber aktuell keine Antikörper, kann die Operation mit Heparin durchgeführt und so das Blutungsrisiko gemindert werden. Da es dadurch zu einer erneuten Antikörperbildung kommt, muss unmittelbar postoperativ auf eine alternative Antikoagulation gewechselt werden.

Weitere problematische Situationen, die ein höheres Blutungsrisiko bedingen, sind eine präoperative Azetylsalizylsäureeinnahme oder -gabe (z. B. beim PTCA-Versuch) oder eine Medikation mit GP-IIb/IIIa-Inhibitoren. Auch wenn sich eine deutlich erhöhte Blutungsneigung nicht bei allen Patienten manifes-

tiert, ist es vorteilhaft – sofern möglich – präoperativ abzuwarten, bis deren Wirkungen abgeklungen sind. Bei Azetylsalizylsäurepräparaten ist ein Absetzen 5–7 Tage vor der Operation meist ausreichend, als Kontrollparameter dient eine Normalisierung der Blutungszeit. Notfalleingriffe lassen sich jedoch meist mit einem akzeptablen Blutungsrisiko durchführen.

Bei so genannten heparinisierten Systemen ist keine Heparinisierung notwendig. Das Heparin ist an der Innenfläche der blutleitenden Elemente, d.h. der Kanülen, Schläuche, Oxygenatoren und Filter, kovalent (zumeist mit Hilfe des Carmeda-Prinzips) gebunden und kann bis zu mehreren Monaten wirksam bleiben, ohne dass eine systemische Antikoagulation eintritt. Fälle einer HIT-Entstehung sind nicht bekannt. Allerdings sind diese Systeme teurer und werden deshalb nicht routinemäßig eingesetzt.

Über die Problematik exzessiver Thrombozytosen existieren kaum verlässliche Angaben, jedoch sind erfolgreiche Herzoperationen mit Herz-Lungen-Maschine trotz exzessiver Thrombozytenzahlen beschrieben.

1.2 Kanülierung

Normalerweise wird nach Vollheparinisierung zuerst die arterielle Kanüle in die Aorta ascendens eingebracht, am besten kleinkurvaturseitig gegenüber dem Abgang des Truncus brachiocephalicus (Schlauchgröße 3/8 Zoll). Sie wird durch 2 in der Adventitia gestochene Tabaksbeutelnähte, die auch filzverstärkt sein können, gesichert. (Transmurale Stiche führen zu Hämatomen und Blutungen!) Ist die Aorta ascendens verkalkt, disseziert oder aus anderen Gründen nicht angehbar, wird in der Regel eine Femoralarterie kanüliert. In der Aneurysmenchirurgie hat sich auch die Verwendung des Truncus brachiocephalicus und insbesondere auch der rechten A. subclavia empfohlen, da hierdurch sehr einfach eine antegrade Zerebralperfusion möglich ist (s. Kapitel 5). Bei aortaler Kanülierung können beliebige Kanülen verwendet werden. Femoral eignen

sich v.a. gerade Kanülen, die über eine quere Arteriotomie eingebracht werden. Um eine ischämische Schädigung der betroffenen Extremität zu vermeiden, wird die Femoralarterie distal der Kanülierungsstelle mit einer dünnen Kanüle, die über einen Seitenarm der Femorkanüle gespeist wird, perfundiert. Bei der Subklaviakanülierung, bei der ebenfalls eine Extremitätenischämie entstehen kann, wird dagegen zumeist eine Dacronprothese der Größe 8 mm End-zu-Seit anastomosiert und nachfolgend die arterielle Kanüle dort eingeknotet.

Als nächstes folgt die venöse Drainage, in der Regel über den rechten Vorhof (Schlauchgröße 1/2 Zoll). Werden die Herzhöhlen nicht eröffnet oder nur im Bereich des linken Herzens operiert, genügt eine so genannte 2-Wege-Kanüle, die über das rechte Herzohr eingebracht wird und beide Hohlvenen drainiert. Soll die rechte Herzseite eröffnet werden oder liegt ein Shuntvitium vor, werden beide Hohlvenen separat kanüliert, mit einem Nabelbändchen umschlungen und über eine Drossel (Tourniquet) verschlossen (Tabelle 1). In beiden Hohlvenen sind rechtwinklige Kanülen am wenigsten störend. Die Kanüle für die obere Hohlvene kann an der Basis des Herzohrs, d.h. über den rechten Vorhof, eingebracht werden (lange Spitze möglich), die obere Hohlvene kann aber auch direkt kanüliert werden (kurze Spitze notwendig). In beiden Fällen muss darauf geachtet werden, dass der Sinusknoten nicht verletzt wird und die Tabaksbeutelnaht nach Entfernen der Kanüle zu keiner Stenosierung der oberen Hohlvene führt. Letzteres wird am besten durch eine längsovalär angelegte Tabaksbeutelnaht erreicht. Die optimale Kanülierungsstelle für die untere Hohlvene befindet sich 1 cm oberhalb des Zwerchfells, mehr lateral als anterior gelegen. Hier kann eine gewinkelte oder eine gerade Kanüle verwendet werden. Die Verwendung eines venösen Sogs zur Optimierung der Drainage hat mehrere Vorteile:

1. Der rechte Vorhof und der rechte Ventrikel werden besser entleert.
2. Es können um 25% kleinere Kanülen gewählt werden.
3. Bei einer kleinen Eröffnung des rechten Vorhofs wird die extrakorporale Zirkulation nicht durch einen Luftblock gestoppt.

Tabelle 1. Größe der arteriellen und venösen Kanülen (ohne Sog) in French (1 F=1/3 mm Außendurchmesser)¹

Körperoberfläche [m ²]	Arteriell [F]	Venös [F]	
		2-Wege	Doppelt
1,0–1,2	18	40×32	24×26
1,3–1,4			26×28
1,5–1,6	20	46×34	28×30
1,7–1,8			30×32
1,9–2,0			32×34
2,1–2,2	24	46×34	34×36
2,3–2,6			36×36

4. Eingriffe an der Pulmonalarterie sind sogar mit einer 2-Wege-Kanüle möglich.

Für die Zufuhr der Kardioplegielösung genügt im Prinzip eine einfache scharfe großlumige Kanüle. Alternativ können spezielle Kardioplegiekatheter über eine (Matratzen-)Naht fixiert werden. Sie weisen oftmals einen Seitenarm auf, der eine aortale Druckmessung unter Kardioplegiegabe und später eine Drainage und eine Entlüftung der Aortenwurzel erlaubt. Bei retrograder Kardioplegiegabe wird ein Ballonkatheter ventral der venösen Kanüle über eine Tabaksbeutelnaht in den Koronarsinus eingebracht. Hierbei kann zwischen selbstblockbaren Kathetern, bei denen sich der Ballon von selbst bläht, und solchen, bei denen dies manuell mit Hilfe einer luftgefüllten Spritze erfolgt, gewählt werden. Das Einbringen des Kardioplegiekatheters ist einfach und selbst bei ausschließlicher Freilegung des rechten Her-

¹ 1 French=1 Charrière (benannt nach Josephe Charrière, einem französischen Messerschmied, der chirurgische Instrumente entwickelte. Die Bezeichnung French, entstand in den USA, da die Amerikaner Schwierigkeiten haben, Charrière auszusprechen)

zens im Rahmen von Reeingriffen möglich (Tabaksbeutelnaht nicht zu tief anlegen, am besten etwa 5 cm oberhalb des Zwerchfells!). Die korrekte Lage des Katheters wird am einfachsten durch Palpation kontrolliert (Der Ballon bzw. der Katheter lassen sich unterhalb des linken Herzhohrs tasten). Nur in seltenen Fällen gelingt die Einlage eines Koronarsinuskatheters nicht. Dann liegt entweder ein Chiari-Netz vor – Reste der embryologisch vorhandenen großen rechten Klappen des Sinus venosus, welche das Koronarsinusostium verlegen – oder das Ostium ist außergewöhnlich klein. Nach Initiierung der extrakorporalen Zirkulation muss sich weiterhin ein Rückfluss über den Katheter trotz venöser Drainage und niedrigem ZVD zeigen. Während der retrograden Gabe von Kardioplegielösung kann das Herz auch etwas luxiert werden, wobei prall gefüllte Venen einschließlich der parallel zum R. interventricularis posterior verlaufenden V. cordis media sichtbar sein müssen.

Die Einlage eines so genannten Linksvents bietet mehrere Vorteile. Er verhindert eine Überdehnung des Herzens bzw. linken Ventrikels, die äußerst gefährlich sein kann. Beim linksseitigen Klappenersatz wird das Operationsgebiet zunächst blutarm gehalten und später eine bessere Entlüftung ermöglicht. Standardzugang ist die rechte obere Lungenvene, alternativ kann, insbesondere in Notfallsituationen, eine Einlage in die Spitze des linken Ventrikels über eine Stichinzision erfolgen. Auch eine Venteinlage in den Pulmonalarterienhauptstamm ist möglich.

1.3 Kardioplegie

Am einfachsten kann an einem stillgestellten Herzen operiert werden. Darüber hinaus senkt ein elektromechanischer Stillstand des Herzens den myokardialen Sauerstoffverbrauch um etwa 90% (Abb. 1). Daher wurde schon sehr früh versucht, einen reversiblen Herzstillstand zu induzieren. Effler et al. [64] gelang dies 1955 mit Hilfe kaliumreicher Lösungen, die auch heute noch Grundlage der St.-Thomas-Lösung sind. Blutkardi-

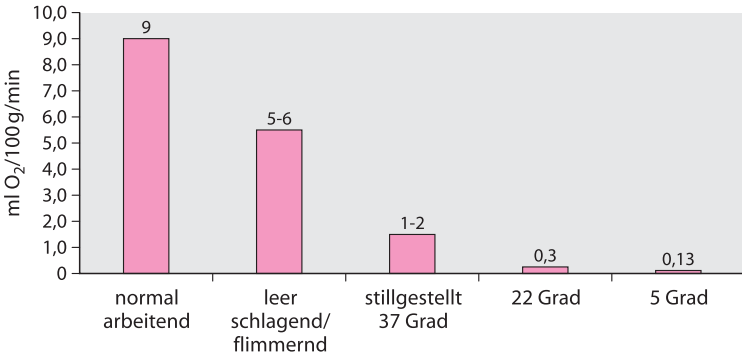


Abb. 1. Myokardialer O₂-Verbrauch [71]

plegie wurde erstmals 1955 von Melrose et al. [116] angewendet. Schon 1956 setzte sie Lillehei et al. [110] retrograd bei einer Aortenklappenoperation ein, aber erst 1978 nach den umfangreichen Untersuchungen von Buckberg [71] erreichte sie eine breite Anerkennung. (Der Begriff „Kardioplegie“ stammt von Lam et al. [106] aus dem Jahr 1957).

Kardioplegische Lösungen führen zu einer Unterbrechung der mechanischen und elektrischen Funktionsabläufe am Herzen, wodurch dieses in der Diastole stehen bleibt und die energiereichen Phosphate erhalten werden. Hinsichtlich der Trägermedien werden kristalloide und kolloidale sowie Blutkardioplegielösungen unterschieden. Sie sind jeweils aus mehreren Bestandteilen zusammengesetzt, um entsprechend gewünschte Effekte zu erzielen: Kaliumchlorid führt in einer Konzentration von 20–30 mmol/l über eine Membrandepolarisation zu einem schnellen diastolischen Herzstillstand; Magnesiumionen blockieren kalziumabhängige intrazelluläre Prozesse durch eine kompetitive Hemmung der Kalziumrezeptoren und wirken damit ebenfalls kardioplegisch; geringe Kalziumgaben (0,5 mval/l) vermeiden die Gefahr eines Kalziumparadoxphänomens in der Reperusionsphase; Puffer wie der Histidinpuffer neutralisieren die während der Ischämiephase anfallenden sauren Stoffwech-

selprodukte; Antioxidanzien wie das Glutathion verhindern die Produktion freier Sauerstoffradikale; osmotisch wirksame Substanzen wirken der interstitiellen und intrazellulären Ödembildung entgegen; das Blut der Blutkardioplegielösung fungiert als optimaler Sauerstoff- und Substratlieferant.

Art und Applikation der Kardioplegielösung sind mittlerweile mehr Philosophie als evidenzbasierte Medizin. Unbestritten ist jedoch die Verwendung einer Kardioplegie im Vergleich zu einer intermittierenden Ischämie durch Abklemmen der Aorta ascendens vorteilhaft, wobei Blutkardioplegie vermutlich am besten ist. Für einfache Eingriffe wie aortokoronare Bypassoperationen ist etwa 1 l (10–15 ml/kg) einer 4°C kalten, antegrad verabreichten asanguinösen Kardioplegielösung (St.-Thomas-Lösung, Brett-schneider-Lösung, University-of-Wisconsin-Lösung) in der Regel ausreichend, wodurch die Myokardtemperatur auf 10–15°C absinkt. Üblicherweise gelangt die Kardioplegielösung nach Passage des Herzens in den Kreislauf der extrakorporalen Zirkulation. Bei separater Kanülierung der Hohlvenen kann sie aber auch abgesaugt werden, um einer zu starken Hämodilution und Hyperkaliämie entgegenzuwirken. Bei längeren Ischämiezeiten werden zusätzliche Gaben von Kardioplegielösung nach Zeitintervallen von 20–30 min (oder auch eine kontinuierliche Gabe über die freien Bypassstransplantate) empfohlen.

Blutkardioplegielösung, antegrad, retrograd oder kombiniert appliziert, ist bei ausgedehnteren Eingriffen vorteilhaft. Hierbei wird zunächst eine kaliumreiche Induktionslösung appliziert, gefolgt von einer kaliumärmeren Erhaltungslösung (Mischungsverhältnis mit Blut 1:4). In der Regel wird eine gekühlte Blutkardioplegielösung verwendet, die eine Asystolie initiiert, durch Hypothermie den Sauerstoffbedarf reduziert und ein Milieu schafft, in dem zwischen den Reinfusionen ein anaerober Metabolismus möglich ist. Reinfusionen erfolgen etwa alle 20 min und dienen dazu, die Asystolie aufrechtzuerhalten, die Hypothermie zu erhalten, eine Azidose zu puffern, saure Stoffwechselprodukte auszuwaschen, energiereiche Phosphate zu erneuern, Substrate zu ersetzen und dem Myokardödem entgegenzuwirken. Normothermie und Verwendung warmer Blutkardio-

plegielösung dienen der Wiederbelebung des vorgeschädigten Myokards. Sie haben den theoretischen Vorteil, dass die zellulären Enzymsysteme weniger geschädigt werden, sodass ein geringeres Zellödem und weniger Gerinnungsstörungen die Folge sind. Außerdem sollen sich die Patienten leichter von der Herz-Lungen-Maschine entwöhnen lassen und dabei häufiger einen Sinusrhythmus aufweisen. Angesichts der jahrelangen Erfahrung mit Hypothermie sollte man jedoch im Zweifelsfall kalte Kardioplegielösungen bevorzugen. Ein so genannter „hot shot“ besteht aus einer warmen Kardioplegielösung, die unmittelbar vor Entfernung der Aortenklemme gegeben wird, um so einem Reperfusionsschaden entgegenzuwirken.

Eine retrograde Gabe der Kardioplegielösung ist insbesondere bei hochgradigen Koronarstenosen, bei Aortenvitien und bei transseptaler Mitralchirurgie ratsam. Sie führt bei Bypassoperationen mit hochgradigen Koronarstenosen oder Koronarverschlüssen zu einer gleichmäßigeren Kühlung und damit besseren Protektion des Herzens, bei Reeingriffen reduziert sie darüber hinaus die Gefahr atheromatöser Embolien aus den alten Bypassgefäßen. Der Vorteil retrograder Kardioplegie bei Klappenvitien liegt darin, dass eine kontinuierliche Gabe problemlos möglich bzw. der Koronarsinus bei Eröffnen des rechten Vorhofs leicht zugänglich ist. Allerdings muss die Aorta ascendens entlastet werden, damit das aus den Koronarostien sickende Blut abfließen kann. Der Perfusionsdruck bei retrograder Gabe von Kardioplegielösung sollte bei 20–40 mmHg liegen, da bei zu hohen Drücken der Koronarsinus rupturieren kann. (Lässt sich kein Perfusionsdruck aufbauen, können gestaute Koronarvenen und eine beginnende Abkühlung des Myokards dennoch eine regelrechte retrograde Perfusion anzeigen.)