

Schmid



Leitfaden Erwachsenen- herzchirurgie

3. Auflage

 Springer

Leitfaden Erwachsenenherzchirurgie

Christof Schmid

Leitfaden Erwachsenen- herzchirurgie

3. Auflage

Mit 20 Abbildungen

 Springer

Prof. Dr. Christof Schmid

Universitätsklinikum Regensburg

Chirurgische Klinik

Abteilung Gefäßchirurgie

Franz-Josef-Strauß-Allee 11

93053 Regensburg

ISBN-978-3-642-34588-3

ISBN 978-3-642-34589-0 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-642-34589-0

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

Springer Medizin

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2002, 2007, 2014

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.

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.

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

Planung: Dr. Fritz Kraemer, Heidelberg

Projektmanagement: Willi Bischoff, Heidelberg

Lektorat: Dr. Stefanie Uhlhorn, Melle

Umschlaggestaltung: deblik Berlin

Cover-Bild: © Springer Verlag

Herstellung: Eva Schoeler, Heidelberg

Satz: Fotosatz-Service Köhler GmbH – Reinhold Schöberl, Würzburg

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer Medizin ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Vorwort zur 3. Auflage

Die große Nachfrage, insbesondere durch die jüngeren Kollegen, die sich auf die Facharztprüfung vorbereiten, und die zahlreichen Neuerungen der letzten Jahre haben diese 3. Auflage entstehen lassen. Nach wie vor soll es ein Buch für die Kitteltasche sein, das chirurgisch konzipiert ist. Indikationsstellung, operative Techniken und Komplikationen der Erwachsenenherzchirurgie stehen im Vordergrund. Historische Daten, wichtige Ereignisse und Leitlinien sind dem jeweiligen Kapitel zugeordnet und mit Literaturstellen belegt (da diese bisweilen schwierig zu finden sind), Diagnostik- und Ergebnisdaten nicht (da mit großer Streubreite im Internet vorhanden).

Zahlreiche Inhalte mussten neu erstellt werden, da früher relativ einfache Indikationskriterien mittlerweile durch umfassende Leitlinien ersetzt wurden. Hierbei wurden hauptsächlich die deutschen und europäischen Leitlinien bedacht. Dies betrifft vor allem die Koronar-, Klappen- und Aortenchirurgie. Im Gegensatz dazu hat sich die mechanische Kreislaufunterstützung extrem weiter entwickelt, wobei sich Indikationsstellungen und operative Techniken teilweise noch in einem experimentellen Stadium befinden. Gleiches gilt für die Transkatheterherzklappen, die neu hinzugekommen sind. Die konservative Hochrisikochirurgie hat dem gegenüber an Bedeutung verloren.

Das Buch will noch immer nicht mit den Standardwerken konkurrieren, sondern bleibt ein sicherlich unvollkommenes Werk, das sich einer Kritik gerne stellt. Es zeigt, dass die Herzchirurgie mit den Jahren immer komplexer erscheint, aber dennoch vieles im Grunde gleich geblieben ist. Allerdings bleibt zu betonen, dass die Kunst der Ausführung mehr als die Regeln des Handwerks von Bedeutung ist.

Christof Schmid

Regensburg, im April 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Extrakorporale Zirkulation und Myokardprotektion	1
	<i>Christof Schmid</i>	
1.1	Antikoagulation	3
1.2	Kanülierung	4
1.3	Kardioplegie	7
1.4	Hypothermie	9
1.5	Beendigung der extrakorporalen Zirkulation	10
1.6	Probleme/Komplikationen	12
	Literatur	13
2	Koronarchirurgie	15
	<i>Christof Schmid</i>	
2.1	Anatomie/Pathologie	16
2.2	Operationsindikation	17
2.3	Operationsverfahren	19
2.3.1	Koronarchirurgie mit Herz-Lungen-Maschine	22
2.3.2	Koronarchirurgie ohne Herz-Lungen-Maschine	24
2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	27
2.5	Ergebnisse	28
2.6	Komplikationen der koronaren Herzerkrankung (KHK)	29
2.6.1	Myokardruptur	29
2.6.2	Ventrikelseptumdefekt (VSD)	30
2.6.3	Linksventrikuläres Aneurysma	31
2.7	Koronarfisteln	32
	Literatur	34
3	Herzklappenchirurgie	37
	<i>Christof Schmid</i>	
3.1	Aortenklappenitien	40
3.1.1	Anatomie/Pathologie	40
3.1.2	Operationsindikation	41
3.1.3	Operationsverfahren	44
3.1.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	50
3.1.5	Ergebnisse	52
3.2	Mitralklappenitien	53
3.2.1	Anatomie/Pathologie	53
3.2.2	Operationsindikation	55

3.2.3	Operationsverfahren	56
3.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	63
3.2.5	Ergebnisse	64
3.3	Trikuspidalklappenvitien	65
3.3.1	Anatomie/Pathologie	65
3.3.2	Operationsindikation	65
3.3.3	Operationsverfahren	66
3.3.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	67
3.3.5	Ergebnisse	68
3.4	Mehrfachklappeneingriff	68
3.5	Gerüstfreie Klappen	69
3.5.1	Homograft/Stentlessklappe	69
3.5.2	Ross-Operation	72
3.6	Endokarditis	73
3.6.1	Operationsindikation	75
3.6.2	Operationsverfahren	77
3.6.3	Intraoperative Probleme/Komplikationen	77
3.6.4	Ergebnisse	77
	Literatur	78
4	Hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie (HOCM)	83
	<i>Christof Schmid</i>	
4.1	Anatomie/Pathologie	84
4.2	Operationsindikation	84
4.3	Operationsverfahren	85
4.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	85
4.5	Alternative Therapieverfahren	86
4.6	Ergebnisse	86
	Literatur	86
5	Aorten Chirurgie	87
	<i>Christof Schmid</i>	
5.1	Thorakale Aortenaneurysmen	88
5.1.1	Anatomie/Pathologie	88
5.1.2	Diagnostik	90
5.1.3	Operationsindikation	91
5.1.4	Operationsverfahren	92
5.1.5	Intraoperative Probleme/Komplikationen	100
5.1.6	Ergebnisse	101
5.2	Aortendissektion	102
5.2.1	Anatomie/Pathologie	102

5.2.2	Operationsindikation	103
5.2.3	Operationsverfahren	104
5.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	107
5.2.5	Ergebnisse	108
5.3	Marfan-Syndrom	108
5.4	Sinus-valsalva-Aneurysma	110
5.5	Traumatische Aortenruptur	111
	Literatur	111
6	Herzinsuffizienzchirurgie	115
	<i>Christof Schmid</i>	
6.1	Pathophysiologie	116
6.2	Konservative Hochrisikochirurgie	116
6.3	Biventrikuläre Schrittmacherimplantation	118
	Literatur	119
7	Mechanische Kreislaufunterstützung	121
	<i>Christof Schmid</i>	
7.1	Anatomie/Pathologie	122
7.2	Operationsindikation	123
7.3	Unterstützungssysteme	125
7.3.1	Intraortale Ballonpumpe (IABP)	126
7.3.2	Ventrikuläre Unterstützungssysteme (VAD)	126
7.4	Operationsverfahren	131
7.4.1	Intrakorporale Systeme über mediane Sternotomie	131
7.4.2	Intrakorporale Systeme über laterale Thorakotomie	132
7.4.3	Intrakorporale Systeme zur Rechtsherzunterstützung	134
7.4.4	Parakorporale Systeme zur Links- und Rechtsherzunterstützung	134
7.4.5	Extrakorporale Membranoxygenation	135
7.5	Intraoperative Probleme/Komplikationen	136
7.6	Ergebnisse	139
	Literatur	140
8	Herztransplantation	143
	<i>Christof Schmid</i>	
8.1	Anatomie/Pathologie	144
8.2	Operationsindikation	144
8.3	Operationsverfahren	145
8.3.1	Spenderoperation	145
8.3.2	Orthotope Transplantation	146
8.3.3	Heterotope Transplantation	147

8.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	148
8.5	Ergebnisse	149
	Literatur	150
9	Rhythmuschirurgie	151
	<i>Christof Schmid</i>	
9.1	Herzschrittmacherimplantation	152
9.1.1	Anatomie/Pathologie	152
9.1.2	Operationsindikation	152
9.1.3	Operationsverfahren	158
9.1.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	158
9.1.5	Ergebnisse	159
9.1.6	Besonderheiten	160
9.2	Defibrillatorimplantation (ICD)	160
9.2.1	Anatomie/Pathologie	160
9.2.2	Operationsindikation	161
9.2.3	Operationsverfahren	161
9.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	163
9.2.5	Ergebnisse	163
9.2.6	Besonderheiten	164
9.3	Ablation von Vorhofflimmern	164
9.3.1	Anatomie/Pathologie	165
9.3.2	Operationsindikation	165
9.3.3	Operationsverfahren	166
9.3.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	168
9.3.5	Ergebnisse	168
9.4	Eventrecorder	169
	Literatur	170
10	Sonstige Eingriffe	173
	<i>Christof Schmid</i>	
10.1	Herztumoren	174
10.1.1	Anatomie/Pathologie	174
10.1.2	Operationsindikation	174
10.1.3	Operationsverfahren	174
10.1.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	175
10.1.5	Ergebnisse	175
10.2	V.-cava-Tumoren	175
10.2.1	Anatomie/Pathologie	175
10.2.2	Operationsindikation	175
10.2.3	Operationsverfahren	176

10.2.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	176
10.2.5	Ergebnisse	176
10.3	Lungenembolie	177
10.3.1	Anatomie/Pathologie	177
10.3.2	Operationsindikation	178
10.3.3	Operationsverfahren	178
10.3.4	Intraoperative Probleme/Komplikationen	179
10.3.5	Ergebnisse	179
	Literatur	179

A Anhang

A1	Klappentypen	182
A2	Aktuell in Deutschland verfügbare Herzklappen	184
A3	Kardioplegielösungen	185
A4	Extrakorporale Zirkulation bei HIT	187
A5	Thrombozytenaggregationshemmer in der Herzchirurgie	188
A6	Herzchirurgisch relevante Leitlinien	189
A6.1	Deutschland	189
A6.2	Europa	190
A6.3	USA	191
A7	Formeln	192
A7.1	Abkürzungen	194
A7.2	Literatur	194
	Stichwortverzeichnis	195

Extrakorporale Zirkulation und Myokardprotektion

Christof Schmid

- 1.1 Antikoagulation – 3
- 1.2 Kanülierung – 4
- 1.3 Kardioplegie – 7
- 1.4 Hypothermie – 9
- 1.5 Beendigung der extrakorporalen Zirkulation – 10
- 1.6 Probleme/Komplikationen – 12

- Literatur – 13

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 arterialisierete Blut wieder dem Körper zurückzuführen. Die erste Maschine, die Blut ohne Unterbrechung des Blutflusses oxigenieren konnte, wurde von von Frey u. Gruber (von Frey u. Gruber 1885) bereits 1885 konzipiert. Die Idee, diese Technik für die Herzchirurgie zu nutzen, wird Brukhonenko (Brukhonenko 1929) zugeschrieben, zum klinischen Einsatz kam sie aber erst 1953 durch Gibbon (Gibbon 1954).

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 Membranoxigenator zugeführt und gelangt nach der 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 ausreichend und sinnvoll. Bei älteren Hypertonikern und bei Patienten mit erheblichen Carotisstenosen 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 °C und 37 °C bleibt die zerebrale Durchblutung wiederum aufgrund der Autoregulation weitgehend konstant, unter 22 °C fällt sie bis auf 15 % ab. Infolge der Autoregulationsmechanismen 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 (außer bei heparin-beschichteten Mini-EKZ-Systemen), eine Hämodilution, einen nichtpulsatilen Fluss sowie eine Hypothermie. Das Blut erhält Kontakt zu nichtepithelialen Oberflächen, insbesondere im Oxigenator, 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

1.1 · Antikoagulation

einer geringeren Vasokonstriktion und damit besseren Mikrozirkulation und zu einer verminderten Ödemneigung führt.

1.1 Antikoagulation

Normalerweise erfolgt die Antikoagulation mit Heparin in einer Dosis von 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 (Hattersley 1966). Nach Beendigung der extrakorporalen Zirkulation erfolgt eine 1:1-Antagonisierung des Heparins mit Protamin, die ACT normalisiert sich auf Werte von 90 bis 130 s.

Patienten mit einem HIT-II-Syndrom (heparininduzierte Thrombozytopenie) sollten kein Heparin erhalten, sofern 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 $\leq 100\,000/\mu\text{l}$) und Thrombembolien auf. Eine alternative Antikoagulation ist derzeit nicht in vergleichbarer Weise zum Heparin möglich. Die Antifaktor Xa-Präparate Danaparoid (Orgaran[®]) und der direkte Thrombininhibitor Lepirudin (Refludan[®]) sind aufgrund ihrer langen Halbwertszeiten schlecht steuerbar. Argatroban (Argatra[®]) und Bivalirudin (Angiox[®]) haben eine kürzere Halbwertszeit von nur 52 min bzw. 25–30 min, jedoch ist bei keiner der Substanzen eine dem Heparin vergleichbare Antagonisierung 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 und Bivalirudin kann über die ACT gesteuert werden, weswegen diese Substanzen aufgrund ihrer kurzen Halbwertszeit vermutlich in Zukunft bevorzugt werden (Koster et al. 2007).

Haben die Patienten lediglich eine HIT-II-Anamnese, aber aktuell keine Antikörper, kann die Operation relativ sicher 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. In einigen Institutionen wird auch bei vorhandenen Antikörpern mit Heparin operiert, da das Komplikationsrisiko mit Heparin als niedriger angesehen wird als mit einem alternativen Antikoagulans.

Weitere problematische Situationen, die ein höheres Blutungsrisiko bedingen können, sind eine präoperative Azetylsalizylsäureeinnahme (KHK-Prophylaxe), eine

1
duale Plättchenhemmung (Azetylsalizylsäure- und Thienopyridinderivat) und eine Medikation mit GP-IIb/IIIa-Inhibitoren. Auch wenn sich eine deutlich erhöhte Blutungsneigung nicht bei allen Patienten manifestiert, ist es vorteilhaft – sofern möglich – präoperativ abzuwarten, bis deren Wirkungen abgeklungen sind. Bei Azetylsalizylsäure- und Thienopyridinpräparaten ist ein Absetzen 5–7 Tage vor der Operation sinnvoll, da die Hemmung der Cyclooxygenasen COX-1 und COX-2 bzw. die Blockierung des P2Y₁₂-Rezeptors irreversibel sind und sich die Gerinnungsfähigkeit erst mit der Neubildung von Thrombozyten im Laufe von 5–7 Tagen wieder einstellt. Lediglich beim Ticagrelor liegt ein reversibler Antagonismus am P2Y₁₂-Rezeptor der Thrombozyten vor (► A5). Als Kontrollparameter dient eine Normalisierung der Blutungszeit. Notfall Eingriffe lassen sich unter den Thrombozytenaggregationshemmern jedoch meist mit einem akzeptablen Blutungsrisiko durchführen.

Bei sog. heparinisierten Systemen ist keine oder nur eine geringe Heparinisierung notwendig. Das Heparin ist an der Innenfläche der blutleitenden Elemente, d. h. der Kanülen, Schläuche, Oxygenatoren und Filter, gebunden und kann mehrere Monate wirksam bleiben, ohne dass eine systemische Antikoagulation eintritt. Die Heparinbeschichtung erfolgt vorwiegend bei miniaturisierten EKZ- und ECMO-Systemen. Fälle einer HIT-Entstehung sind nicht bekannt.

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 zwei 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 ansehbar, 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 (► Kap. 5). Bei aortaler Kanülierung können beliebige Kanülen verwendet werden. Femoral eignen sich v.a. Punktionskanülen und gerade Kanülen, die über eine quere Arteriotomie eingebracht werden. Um eine ischämische Schädigung der betroffenen Extremität zu vermeiden, kann die Femoralarterie distal der Kanülierungsstelle mit einer dünnen Kanüle, die über einen Seitenarm der Femoralkanüle gespeist wird, perfundiert werden. Aufgrund der begrenzten Operationsdauer wird in der Regel jedoch auf eine distale Perfusion bei Standardoperationen verzichtet. Bei der Subclaviakanülierung, bei der

1.2 · Kanülierung

■ **Tab. 1.1** Größe der arteriellen und venösen Kanülen (ohne Sog) in French (1F = 1/3 mm Außendurchmesser)

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		28×30
1,7–1,8			30×32
1,9–2,0			32×34
		46×34	
2,1–2,2			34×36
	24		
2,3–2,6			36×36

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

ebenfalls eine Extremitätenischämie entstehen kann, wird dagegen zumeist eine Dacronprothese der Größe 8 mm rechtwinklig oder schräg End-zu-Seit anastomosiert und nachfolgend die arterielle Kanüle dort eingeknotet. Weitere arterielle Kanülierungsorte, die ausschließlich in Notfallsituationen (z. B. Aortendissektion) genutzt werden sind der linksventrikuläre Apex und die durchtrennte Aorta.

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 (■ Tab. 1.1). 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

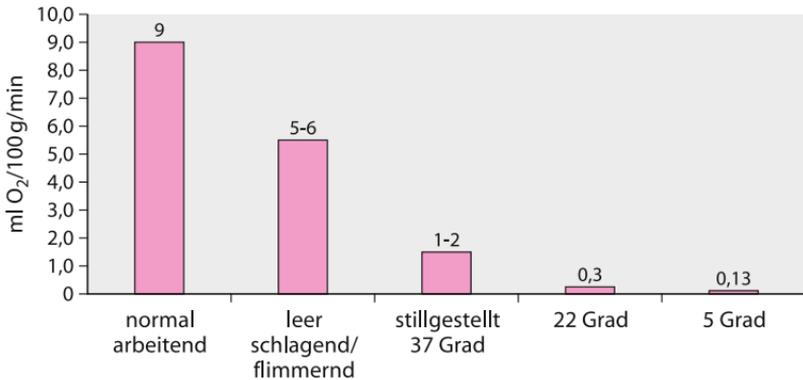
Fällen muss darauf geachtet werden, dass der Sinusknoten nicht verletzt wird und die Tabaksbeutelnaht nach Entfernen der Kanüle zu keiner Stenosierung der oberen Hohlvene führt. Letzteres wird am besten durch eine längsovalär angelegte Tabaksbeutelnaht erreicht. Die optimale Kanülierungsstelle für die untere Hohlvene befindet sich 1 cm oberhalb des Zwerchfells, mehr lateral als anterior gelegen. Hier kann neben einer gewinkelten auch eine gerade Kanüle benutzt werden. Die Verwendung eines venösen Sogs zur Optimierung der Drainage hat mehrere Vorteile:

- Der rechte Vorhof und der rechte Ventrikel werden besser entleert.
- Es können um 25 % kleinere Kanülen gewählt werden.
- Bei einer kleinen Eröffnung des rechten Vorhofs wird die extrakorporale Zirkulation nicht durch einen Luftblock gestoppt.
- 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- oder Tabaksbeutelnaht 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 luft- oder flüssigkeitsgefüllten Spritze erfolgt, gewählt werden. Sich automatisch selbst aufblähende Ballonkatheter werden dann eingesetzt, wenn der rechte Vorhof nicht eröffnet wird, wogegen die manuellen Katheter zur direkten Kanülierung bei eröffnetem Vorhof bevorzugt werden. Das Einbringen des Kardioplegiekatheters ist einfach und selbst bei ausschließlicher Freilegung des rechten Herzens 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 Herzhohls 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 Koronarsinustium 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 zentralen Venendruck (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 sog. 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

1.3 · Kardioplegie



■ **Abb. 1.1** Myokardialer O₂-Verbrauch. (Follette et al. 1978)

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 Pulmonararterienhauptstamm 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. 1.1). Daher wurde schon sehr früh versucht, einen reversiblen Herzstillstand zu induzieren. Effler (Effler et al. 1956) gelang dies 1955 mit Hilfe kaliumreicher Lösungen, die auch heute noch Grundlage der St.-Thomas-Lösung sind. Blutkardioplegie wurde erstmals 1955 von Melrose (Melrose et al. 1955) angewendet. Schon 1956 setzte sie Lillehei (Lillehei et al. 1956) retrograd bei einer Aortenklappenoperation ein, aber erst 1978 nach den umfangreichen Untersuchungen von Buckberg (Follette et al. 1978) erreichte sie eine breite Anerkennung. (Der Begriff »Kardioplegie« stammt von Lam (Lam et al. 1957) 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 Reperfusionphase; Puffer wie der Histidinpuffer neutralisieren die während der Ischämiephase anfallenden sauren Stoffwechselprodukte; 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. Die asanguinösen Lösungen (z.B. St.-Thomas-Lösung (Hearse et al. 1976), Bretschneider-Lösung (Gebhard et al. 1983), University-of-Wisconsin-Lösung (Wahlberg et al. 1987)) werden in der Regel 4 °C kalt und antegrad verabreicht, 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. Eine retrograde oder kombinierte Kardioplegiegabe ist möglich.

Blutkardioplegielösungen können ebenfalls antegrad, retrograd oder kombiniert appliziert werden. Hierbei wird zunächst eine kaliumreiche Induktionslösung appliziert, gefolgt von einer kaliumärmeren Erhaltungslösung (Mischungsverhältnis mit Blut 1:4). Ein vereinfachtes Verfahren ist die sog. Calafiore-Technik. Hierbei wird Blut aus dem System abgezweigt und mit Kalium angereichert in die Aortenwurzel gegeben (Calafiore et al. 1995). 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 bewahren, eine Azidose zu puffern, saure Stoffwechselprodukte auszuwaschen, energiereiche Phosphate zu erneuern, Substrate zu ersetzen und dem Myokardödem entgegenzuwirken. Normothermie und Verwendung warmer Blutkardioplegielösung dienen der Wiederbelebung eines 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. Ein sog. »hot shot« besteht aus einer warmen Kardioplegielösung, die unmittelbar vor Entfernung der Aortenklemme gegeben wird, um so einem Reperfusionsschaden entgegenzuwirken. Angesichts der jahrelangen Erfahrung mit Hypothermie sollte man jedoch im Zweifelsfall kalte Kardioplegielösungen bevorzugen.

Für einfache Eingriffe wie simple aortokoronare Bypassoperationen ist etwa 1 l (10–15 ml/kg) einer kalten kristalloiden Kardioplegielösung ausreichend. Diese kann

1.4 · Hypothermie

per Gravitation oder über eine Pumpe (mit 50–60 mmHg) infundiert werden. Bei ausgedehnteren Eingriffen mit längeren Ischämiezeiten kommen zumeist entweder Hochdosiskardioplegie- oder Blutkardioplegieverfahren zum Einsatz. Während Hochdosisprotokolle lediglich eine Einmalgabe vorsehen, werden bei der Blutkardioplegie zusätzliche Gaben nach Zeitintervallen von 20–30 min oder auch eine kontinuierliche Gabe empfohlen. Eine retrograde Gabe der Kardioplegielösung ist insbesondere bei hochgradigen Koronarstenosen, bei stenosiert verkalkten Koronarostien, bei Aortenitien 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 Klappenitien 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 sickernde Blut abfließen kann. Der Perfusionsdruck bei retrograder Gabe von Kardioplegielösung sollte bei 20–40 mmHg liegen, da bei zu hohen Drucken der Koronarsinus rupturieren kann. (Lässt sich kein Perfusionsdruck aufbauen, können gestaute Koronarvenen und eine beginnende Abkühlung des Myokards dennoch eine regelrechte retrograde Perfusion anzeigen.)

1.4 Hypothermie

Kälte schützt das Herz, das ist seit langem bekannt. Bei einer Absenkung der Herztemperatur sinkt der myokardiale Metabolismus pro 10 °C um 50 % (Van't-Hoff-Regel). Bigelow (Bigelow et al. 1950) schlug bereits 1950 den Einsatz der Hypothermie in der Herzchirurgie vor und führte zahlreiche Experimente durch. Sie wurde erstmals 1953 von Lewis u. Taufic (1953) eingesetzt, und zwar zum Verschluss eines Vorhofseptumdefekts ohne Herz-Lungen-Maschine. Das Prinzip der Oberflächenkühlung durch Irrigation mit kalter Kochsalzlösung wurde 1959 von Shumway (Shumway et al. 1959) in die Klinik eingeführt.

Einfache Koronareingriffe bedürfen jedoch keiner aktiven Hypothermie. Es reicht aus, das Herz bzw. den Körper auskühlen zu lassen und zum Ende der Ischämieperiode wieder aufzuwärmen. Wird eine Ischämiezeit > 1 h erwartet, ist eine milde Hypothermie von etwa 30–34 °C empfehlenswert. Bei Ischämiezeiten bis zu und über 2 h sollte der Patient weiter abgekühlt werden.

Mit den modernen Herz-Lungen-Maschinen kann der Patient forciert abgekühlt werden. Die früher stets propagierte Vorgabe nicht mehr als um etwa 1 °C/min abzukühlen ist seit Einführung der Membranoxigenatoren nicht mehr gültig, da bei den Membranoxigenatoren der pO₂ gut steuerbar ist und auf 150 mmHg gehalten werden kann. Die Gefahr der Bildung von Gasbläschen ist gering. Bei besonders großer Tem-

1 peraturabsenkung, z. B. einer Einleitung einer tiefen Hypothermie auf $< 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ für Aortenbogeneingriffe, kann die Gabe eines α -Blockers (z. B. Phentolamin) vorteilhaft sein, da dieser eine gleichmäßigere und schnellere Temperaturabsenkung ermöglicht. Bei diesen tiefen Temperaturen wird ein Kreislaufstillstand bis zu 45 min relativ problemlos toleriert. Nachteile insbesondere der tiefen Hypothermie sind eine stärkere postoperative Blutungsneigung und eine vermehrte Ödembildung des Herzens.

Auch das Wiedererwärmen kann inzwischen schneller als früher gefordert erfolgen. Generell sollte die Temperatur im Wärmeaustauscher jedoch nie über $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegen.

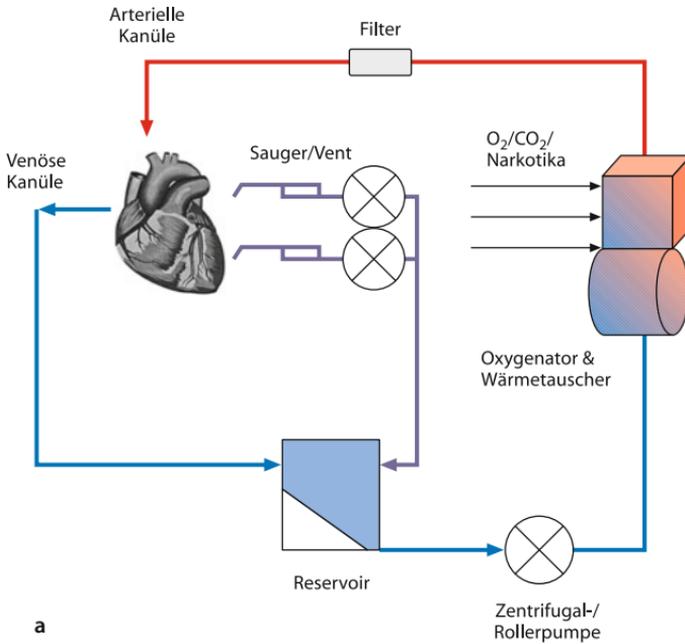
Für das pH- und pCO_2 -Management gibt es zwei Möglichkeiten: Bei tieferer Körpertemperatur fällt der pCO_2 ab und der pH steigt an, und zwar um $0,017/^{\circ}\text{C}$, d. h. bei $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt der pH bei 7,6. Bei der α -stat-Methode werden diese Veränderungen nicht ausgeglichen (»scheinbare Alkalose«), während dies bei der pH-stat-Methode durch vermehrte CO_2 -Gabe der Fall ist (»relative Azidose«). Die α -stat-Methode entspricht dem Regulationstyp poikilothermer Tiere (Kaltblüter) und ist dadurch charakterisiert, dass der Ionisationsgrad wichtiger Enzyme erhalten bleibt. Sie erscheint somit physiologischer und wird überwiegend praktiziert. Der Vorteil der pH-stat-Methode, die der Regulation bei Winterschläfern entspricht, liegt in der besseren zerebralen Durchblutung aufgrund der CO_2 -vermittelten Vasodilatation. Sie wird teilweise in der Kinderherzchirurgie bevorzugt.

1.5 Beendigung der extrakorporalen Zirkulation

Nachdem die geplanten Maßnahmen am Herzen durchgeführt wurden, kann der Patient von der extrakorporalen Zirkulation (■ Abb. 1.2) entwöhnt werden. Hierzu muss er wieder auf mindestens $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufgewärmt sein und der Intraavasraum bzw. das Herz durch Drosselung des venösen Abflusses aufgefüllt werden. Die Kontraktilität des Myokards wird durch den Chirurgen visuell und durch den Anästhesisten mit Hilfe der transösophagealen Echokardiographie beurteilt. Ist die Kontraktilität inadäquat, muss sie durch die Applikation geeigneter Medikamente, z. B. Katecholamine oder Phosphodiesterasehemmer, gesteigert werden. Gegebenenfalls kann zur Besserung der Herzleistung ein Vorhofflimmern durch Kardioversion in einen Sinusrhythmus überführt und ein bradykarder Eigenrhythmus durch eine (Vorhof-) Schrittmacherstimulation gesteigert werden. Bei einer schwer eingeschränkten linksventrikulären Pumpfunktion hilft eine intraaortale Ballonpumpe (► Kap. 7), bei einer Rechtsherzproblematik infolge eines pulmonalen Hypertonus ist eine Beatmung mit Stickstoffmonoxid (NO) (bis zu 30 ppm) günstig.

Mit Erreichen normotensiver pulsatiler Blutdruckwerte unter adäquater Füllung des Herzens wird der Fluss der Herz-Lungen-Maschine schrittweise reduziert und diese schließlich abgestellt. Nach venöser Dekanülierung erfolgt bei stabilen Kreislauf-

1.5 - Beendigung der extrakorporalen Zirkulation



a



b

■ Abb. 1.2 Prinzip der Herz-Lungen-Maschine. a Schematisch b Gerät