

Standard der extrakorporalen Zirkulation in der Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie des Universitätsklinikums der Martin-Luther-Universität Halle (Saale)

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit beschreibt den an unserer Klinik zurzeit üblichen, schriftlich niedergelegten Ablauf der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) bei Erwachsenen in sechs Kapiteln: Vorbereitung auf die EKZ, Aufnahme der Perfusion, kardioplegische Verfahren, Durchführung der EKZ, Entwöhnung vom kardiopulmonalen Bypass und Nachbereitung der EKZ. Dieser Standard dient uns sowohl zur Qualitätssicherung als auch zur Vermeidung unnötiger Kosten – zwei Ziele, die sich nicht ausschließen müssen. Er wird auf mehr als 90 Prozent aller Fälle angewendet und dann auch eingehalten. Berufsanfänger und Praktikanten bekommen so in unserem Haus einen verbindlichen Ablauf zur Planung und Durchführung des kardiopulmonalen Bypasses an die Hand, der ihnen hilft, schon zu einem vergleichsweise frühen Zeitpunkt selbstständig zu arbeiten.

SCHLÜSSELWÖRTER

Extrakorporale Zirkulation, EKZ, kardiopulmonaler Bypass, CPB, Standardisierung, Standard

SUMMARY

This standard operating procedure (SOP) describes the workflow for extracorporeal circulation (ECC) in adult cases in our institution. The tasks are divided into six chapters: 1. preparing the technical systems, 2. induction of ECC, 3. cardioplegia, 4. maintenance of and 5. weaning from bypass, and 6. reworking. This SOP serves for quality and cost control – two aims that must be followed and combined. Clinical reasons may make a deviation from this SOP necessary but these variations must be substantiated in any case. Thus, freshmen and trainees will get a directive to allow a high standard of patient care and safety even in the early years of independently performing CPB.

KEY WORDS

Extracorporeal circulation, ECC, cardiopulmonary bypass, CPB, standardization, SOP

1. VORBEREITUNG DER EKZ

Sichtkontrolle des aufgebauten Sets, von links beginnend: Oxygenator im Halter eingearstet? Gaszuführung konnektiert? Gasabsaugung angeschlossen? (Cave: Freisetzung von Narkosegasen!) Venöse Linie in Flussklemme eingelegt, Klemme offen? Arteriell Filter fest im Halter? Filterentlüftung am Reservoir konnektiert, Richtung des Einwegventils? Druckmessung „rot“ am Konnektor angebracht, Sensor in der Halterung? Pumpenlinie nicht verdreht und richtig (LL-Konnektor am Pumpenauslass, mit Pfeil gekennzeichnet) in die erste Pumpe eingelegt? Druckmessung „blau“ am LL-Konnektor konnektiert, Sensor in der Halterung? „Blauer“ (Kardiotomie-) Sauger so in den zweiten Pumpenkopf eingelegt, dass der Pfeil des Pumpendeckels auf den Farbring am Schlauch zeigt? „Roter“ (Ventrikel-) Sauger ebenso in den dritten Pumpenkopf eingelegt?

Kontrolle des Zubehörs: 6 Klemmen am linken, 1 Schere am rechten Mast? Auf der oberen Ablage, von links: 1 Voluven, Spritzenhülle, Retransfusionsbeutel? Auf der unteren Ablage, von links: 1 Heparin, 2 Kalzium, 3 Kalium, 4 Natrium, 1 Magnesium; 6 ACT- und 2 BGA-Kartuschen? Natriumbikarbonat im linken Pumpenzwischenraum, Reflexhammer im rechten? Auf den Pumpen: Priming, sterile Spritze mit Kanüle, Sensor für CDI? Narkosegasverdampfer ausreichend mit Sevoflurane gefüllt?

Kontrolle der HLM: Einschalten der HLM, des Laptops und des Blutgasmonitors CDI 500. Druckmessung vor und nach Oxygenator? Niveau- und Blasensensor? Venöse Temperatursonde? Gasblender und Gasmonitor? Kardioplegiemodul (Zeit- und Druckmessung)? Zeitnehmermodul einschalten: Kanal 1 für Bypass-, 2 für Klemm-, 3 für Reperfusionzeit. ACT- und BGA-Messgeräte (Hemochron Jr. II und Abbott iStat) an der Maschine? Narkosegasmonitor (Oxyanga) einschalten.

Oxygenator:	Compactflo Evo
Max. Blutfluss:	7,5 l/min
Membran:	mikroporöses Polypropylen
Beschichtung:	Phisio
Oberfläche:	1,7 m ²
Wärmetauscher:	Edelstahl
Oberfläche:	0,14 m ²
Füllvolumen (Oxy + WT):	250 ml
Reservoir:	komb. Hartschaalenreservoir
Gehäuse:	Polycarbonat
Entschäumer:	Polyurethan
Porengröße:	30 µm
Kapazität:	4300 ml
Arteriell Filter:	Dideco 733
Max. Blutfluss:	5,0 l/min
Porengröße:	40 µm
Füllvolumen:	100 ml
Präbypassfilter:	Pall
Porengröße:	0,2 µm
Füllvolumen:	150 ml
Schlauchset:	PTS Pre-Conn, latexfrei
Schlauchmaterial:	med. PVC, Shore 65 - 75
Pumpensegmente:	med. Silikon
Venöse Linie:	1/2" x 3/32"
Arterielle Pumpe:	1/2" x 3/32"
Arterielle Linie:	3/8" x 3/32"
Saugerlinien:	1/4" x 1/16"

Tab. 1: Komponenten des extrakorporalen Systems, technische Daten

Art	Buckberg modifiziert	Calafiore	Bretschneider
Anwendung	ACB bei AMI Klappen-, Aorteneingriffe Kombinationseingriffe EF \leq 50 %, Re-OP kardiogener Schock multimorbider Pat.	ACB AKE EF \geq 50 % Ischämiezeit \leq 1 h	MIC Kinder-OP
System antegrad	CSC 14 Sorin Group fluss-/druckgesteuert	im Komplet-Set integriert fluss-/druckgesteuert	Schlauchset Sorin Group fluss-/druckgesteuert
Zusammensetzung	Herstellung Uni-Apotheke 1. Kalte Induktion 250 ml Glukose-Monohydrat 14,07 g; KCl 30 mmol; Trometamol 39,33 mmol; Zitronensäure-Monohydrat 0,115 g; Natriumcitrat-Dihydrat 0,29 g 2. Re-Induktion 500 ml Glukose-Monohydrat 28,11 g; KCl 16 mmol; Trometamol 20,7 mmol Zitronensäure-Monohydrat 0,208 g; Natriumcitrat-Dihydrat 0,55 g	3 Ampullen KCl 14,9 %, 1 Ampulle Mg-5-Sulfat	Custodiol 1 l (Dr. F. Köhler Chemie) NaCl 15 mmol; KCl 9 mmol; MgCl ₂ x 6 H ₂ O 4 mmol; Histidinhydrochlorid x H ₂ O 18 mmol; Histidin 180 mmol; Tryptophan 2 mmol; Mannitol 30 mmol; CaCl x 2 H ₂ O 0,015 mmol; Kaliumhydrogen-2-Oxopentandiot 1 mmol
Temperatur	6 °C	36,5 °C	10 °C
Induktion	4 min mit 300 ml/h über RP Mischverhältnis 4:1 P _{syst} max. 200 mmHg	2 min mit 250 ml/h Perfusor 200–300 ml/h über RP P _{syst} max. 200 mmHg	2.000 ml mit 250 ml/min über RP P _{syst} max. 200 mmHg
Re-Infusion	alle 20 min für 2 min 200 ml/h über RP Mischverhältnis 4:1 P _{syst} max. 200 mmHg	alle 20 min für 2 min 150 ml/h Perfusor 200–300 ml/h über RP P _{syst} max. 200 mmHg	nach ca.120–180 min je nach Hypothermiegrad
Hot Shot 36,5 °C	2 min vor „Aorta auf“ 200 ml/h über RP P _{syst} max. 200 mmHg nur Blut		
Graftperfusion 36,5 °C	P _{syst} max.100 mmHg, nur Blut	P _{syst} max.100 mmHg, nur Blut	

Tab. 2: Kardioplegische Verfahren, Auswahl und Durchführung

krit erfragen. Wenn Hkt < 28 %, Blutpriming! Perfusion im DMS und im QIMS anlegen, Forschungsprotokoll ausfüllen. Wenn Heparin gegeben wurde, Zirkulation stoppen. Dazu Dreiwegehähne von Filterentlüftungs- und Probenentnahmelinie schließen, venöse Klemme schließen und gleichzeitig arterielle Pumpe so stoppen, dass vor und nach dem Oxy ein leicht positiver Druck besteht. Anreichen des Tischsets nach Aufforderung. Dazu die vier Klebestreifen lösen und vorsichtig die obere Halbschale abnehmen. Auf steriles Vorgehen achten! Abgabe der Schläuche an den Chirurgen, Entgegennahme und Anschluss der Kardioplegielinie. Perfusionsbereitschaft ist hergestellt. Ansage: „Maschine steht!“ ACT kontrollieren, ansagen und bestätigen lassen: Bei > 250 sec kann „blau“ gesaugt, bei > 400 sec die Perfusion aufgenommen werden.

2. AUFNAHME DER PERFUSION

Die Perfusion wird normotherm und nonpulsatil durchgeführt. Bei großen Abweichungen von Normalwerten: milde Hypo-

thermie (32 °C). Kanüliert wird wie folgt: arteriell Stöckert A900-34, venös Zweistufenkanüle Stöckert V900-11, Aortenwurzel Kardioplegiekanüle Edwards ATC011MV. Korrekte Lage der arteriellen Kanüle durch Drucktest kontrollieren, dazu die arterielle Pumpe kurz hochfahren und den Liniendruck beobachten. Langsames Anfahren der arteriellen Pumpe im Verhältnis zum venösen Abstrom durch gefühlvolles Öffnen der venösen Klemme (Feintrieb!). Erreichen des PMV (HI 2,4 l/min/m²) nach drei Minuten. Zuschalten der Blutgasüberwachung CDI 500 und eventuelles Regulieren der Parameter. MAP > 60 mm Hg aufrechterhalten durch Flusstoleranz von 80–125 % PMV oder pharmakologische Unterstützung. Erste BGA mit CG-8-Kartusche zum Abgleich des CDI 500. Mischen der gewählten Kardioplegie und Entlüften der Tischlinie.

3. KARDIOPLEGISCHE VERFAHREN

Auswahl der Kardioplegie nach Art des Eingriffs und Diagnose siehe Tabelle 2. Das Set wird gleichzeitig mit dem HLM-

Set aufgebaut, CO₂-gespült und entlüftet. Die Kardioplegielinie wird am Tisch zusätzlich mit einem CDS004 (Edwards) zur Graftperfusion verwendet. Zur Induktion der Kardioplegie HLM-Fluss kurz reduzieren. Nach Drainage des linken Ventrikels wird die Aorta geklemmt. Dann wird die Kardioplegie gemäß Tabelle 2 über die Aortenwurzel perfundiert. Zur Freigabe der Aorta den HLM-Fluss auf 2 l/min reduzieren, roten Sauger erhöhen (Chirurg entfernt Klemme), dann wieder normalen Fluss herstellen. Das Herz sollte im Eigenrhythmus schlagen, andernfalls defibrillieren oder zügig mittels PM unterstützen.

4. PERFUSIONSFÜHRUNG

Grundsätze: Die Perfusion richtet sich nach den Bedürfnissen des Patienten, nicht umgekehrt. Zu den wichtigsten Überwachungsaufgaben während der Perfusion zählen: Herz- und Kreislauffunktion; Gasaustausch; Säure-Basen-Haushalt; Nierenfunktion; ACT-Kontrolle; Protektion des Myokards. Alle Anzeigeeinstrumente sind ständig zu überwachen („Rundumblick“,

$$\text{Hkt erwartet} = \frac{\text{Ausgangs-Hkt} \times \text{Blutvolumen}}{\text{Primingvolumen} + \text{Blutvolumen}}$$

$$\text{Ery.-Konz.} = \frac{\text{Hkt. erw} \times (\text{BV} + \text{PV}) - \text{Hkt akt} \times \text{BV}}{50}$$

$$\text{Elektrolyte} = (\text{Soll} - \text{Ist}) \times \text{kg KG} \times 0,2 / \text{Molarität}$$

[Na = 1, K = 1, Ca = 2]

$$\text{PMV} = \sqrt{(\text{Größe} \times \text{Gewicht}) \times 0,1672 \times 2,4}$$

Tab. 4: Formeln zur Berechnung der Perfusion (HZV, Hkt, Blutprodukte, Elektrolyte)

von links nach rechts): Druck vor und nach Oxygenator; Level-Sensor, Bubble-Sensor; Temperaturen; Gasmonitor; Narkosegasmonitor; Kardioplegiesteuerung, Zeitnehmer; Patientenmonitor (MAP, ZVD, PAP, EKG); Blutgasmonitor. Im DMS sind alle manuellen Tätigkeiten zeitnah zu dokumentieren; die Maschinenwerte und Monitordaten werden automatisch aufgezeichnet. Der Kardiotechniker hat sich stets über den Verlauf der Operation beim Chirurgen, Anästhesisten und durch den Blick in den Situs zu informieren. Arterielle Blutgase, Kalium, venöse Sättigung und Hämatokrit werden kontinuierlich mittels CDI 500 (Referenzgerät: iStat) gemessen. Angewendet wird das alpha-Stat-Verfahren. Die Werte in Tabelle 3 sind einzuhalten. Die Gabe von Elektrolyten, Volumenersatz und Erythrozytenkonzentrat erfolgt durch den Kardiotechniker unter Berücksichtigung der Formeln in Tabelle 4.

Praktisches Vorgehen: Nach dem Verabreichen der Kardioplegie wird der „rote“ Sauger mit ungefähr 300 ml/min angestellt. Das eingebaute Vent-Ventil verhindert ein Kollabieren der Aorta. Etwa alle 30 Minu-

ten ist die ACT zu kontrollieren. Bei Werten unter 400 Sekunden (oder knapp darüber, falls die Perfusion noch erkennbar dauern wird) sind 5.000 bis 10.000 IE Heparin zu geben und die Wirkung zu kontrollieren. Die Urinproduktion ist abzufragen, sie sollte bei 2 ml/kgKG/h liegen und kann mit Lasix (Dosierung: Anästhesie) ange-regt werden. Um Mikroblasen zu verhindern, sollte im Reservoir immer ein Mindestvolumen von 600 ml sein.

Vor „Aorta auf“ (wird angesagt!) Kalium auf hochnormalen Wert bringen. Zur Freigabe der Aorta den HLM-Fluss auf 2 l/min reduzieren, roten Sauger erhöhen (Chirurg entfernt Klemme), dann wieder den normalen Fluss herstellen. Das Herz sollte im Eigenrhythmus schlagen, andernfalls wird defibrilliert (Springer) oder ein temporärer Schrittmacher eingesetzt (Anästhesie). Je nach Bedarf werden jetzt Kalzium, Magnesium und weiterhin Kalium substituiert; eventuell wird eine zusätzliche Kontrolle mittels iStat nötig. Während der Reperfusion ist Zeit für die Vorbereitung der Flussmessung.



Abb. 2: Fertiger Aufbau des extrakorporalen Systems

pH	7,35 – 7,45
pO ₂	13,7 – 27 kPa
pCO ₂	4,0 – 5,3 kPa
HCO ₃ ⁻	21 – 29 mmol/l
BE	0 – 3 mmol/l
K ⁺	5,0 – 6,0 mmol
Na ⁺	130 – 150 mmol
Ca ⁺⁺	1,1 – 1,3 mmol
Gluc	3,9 – 8,0 mmol
Hkt	≥ 20 %, zum Abgang: ≥ 25 %

Tab. 3: Einzuhaltende Normwerte der Perfusion

5. ENTWÖHNUNG VOM KARDIO-PULMONALEN BYPASS

Nach Ansage des Operateurs werden die Vorbereitungen getroffen zum Abgehen von der HLM: Blutgase, Elektrolyte, Glukose und Hämatokrit sind nochmals zu überprüfen. Ausreichendes Volumen im Reservoir ist bereitzustellen. In Abstimmung mit dem Chirurgen und Anästhesisten wird der Patient langsam mit Volumen belastet und der HLM-Fluss schrittweise reduziert. Dazu die Flussklemme mit dem Grobtrieb so weit schließen, bis der Abfluss aus dem Reservoir den Zustrom übersteigt. Nun auch den Fluss der arteriellen Pumpe zügig so weit reduzieren, bis sich ein Gleichgewicht einstellt. Der Kardiotechniker vergewissert sich beim Anästhesisten, ob die Beatmung adäquat ist. Jetzt parallel venösen Rückfluss (Feintrieb benutzen!) und arterielle Pumpe reduzieren, bis bei stabilen Druck- und Kreislaufverhältnissen die HLM angehalten wird. Ansage: „Maschine steht.“ Wenn erforderlich, kann über die arterielle Kanüle Volumen gegeben werden. Nach Stabilisierung des Kreislaufs werden die Kanülen abgeklemmt und entfernt.

6. NACHBEREITUNG DER EKZ


Nach EKZ-Ende Protamingabe durch die Anästhesie. Bei 50 % der Dosis (wird angesagt) beide Sauger stoppen! Retransfusionsblut abfüllen und nach Anordnung des Chirurgen an die Anästhesie übergeben. Die HLM bleibt bis zur Hautnaht im Saal. In dieser Zeit Dokumentation der Perfusion im DMS. Drei Protokolle ausdrucken (Akte, Operateur, Archiv), Daten im DMS archivieren (täglich: Backup der gesamten Datenbank auf separaten Datenträger). Do-

kumentation der Perfusionsdaten im QIMS für die klinikeigene Qualitätssicherung. Dann das Perfusionsset und Zubehör in die rote Tonne entsorgen. HLM im unreinen Teil des Maschinenraums säubern und mit Inzidin Extra 0,5 % desinfizieren (Hygieneanweisung beachten). Ebenso Hypothermie-, ACT- und Flussmessgerät im Saal behandeln. Maschine auf die reine Seite überführen und an die Medienampel anschließen. Neues Set aufbauen: Schale neben den Oxy-Halter stellen, Sterilverpackung aufreißen und Sicherungsbänder lösen. Den Oxygenator entnehmen und in die Halterung einbringen. Darauf achten, dass beide Wasseranschlüsse fest konnektiert sind und zwischen Reservoir und Halter keine Schläuche eingeklemmt sind. Die grüne Gaslinie am Filter mit dem farblosen Gasschlauch verbinden und den Gasauslass am Oxygenator mit


dem schwarzen Schlauch zur Narkosegasabsaugung konnektieren. Den Fußteil des Halters so weit nach rechts drehen, dass der Oxy-Einlass in Richtung arterielle Pumpe zeigt. Die Pumpenlinie so in den Pumpenkopf einlegen, dass sie nirgends knickt und nicht in sich verdreht ist. Der Pfeil auf dem Pumpenkopfdeckel muss auf den Dreiwegehahn zeigen. Das Tischset aus der Schale nehmen und am Mast anhängen, die venöse Linie in die Flussklemme einlegen und anschließend das arterielle Filter auf seinen Halter stecken und dabei darauf achten, dass die arterielle Linie nirgends verdreht ist. Jetzt blauen Sauger am Reservoir anschließen und in den zweiten Pumpenkopf so einlegen, dass der Pfeil auf dem Pumpenkopfdeckel auf die Farbmarkierung am Schlauch zeigt. Nun den roten Sauger auf die gleiche Weise am Reservoir anschließen und in den dritten

Pumpenkopf einlegen. Die blaue Druckmessung an den Dreiwegehahn der Pumpenlinie, die rote Druckmessung an den Y-Konnektor der arteriellen Linie anschließen und in die Messwertaufnehmer einschieben. Venöse Temperatursonde und Füllstandssensor am Reservoir und Blasendetektor an der arteriellen Linie anbringen. Zubehörschale (Spritzen etc.) und Retransfusionsbeutel auf die obere Ablage legen, verbrauchte Medikamente und Kartuschen nachfüllen. Die HLM ist wieder einsatzbereit.

*Holger Zorn
Leitender Kardiotechniker
Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie
Klinikum der Martin-Luther-Universität
06097 Halle (Saale)
holger.zorn@medizin.uni-halle.de*



Current Perspectives of Extracorporeal Circulation



Basel, 16.-17.03.2007

Organisation:
PD Dr. med. D. Baykut
Universitätsspital Basel
baykugd@uhbs.ch
www.cpxc.org

**Credit
12 Punkte**