

Aortenbogenrekonstruktion – „Beating Heart“

ZUSAMMENFASSUNG

Aortenbogenrekonstruktionen werden allgemein in tiefer Hypothermie mit kurzfristigem Kreislaufstillstand bei 15–18 °C Körperkerntemperatur durchgeführt. Alternativ dazu hat sich der kardioplegische Herzstillstand mit selektiver Kopfperfusion während der Bogenkorrektur etabliert. Aufgrund unserer Erfahrungen mit Low-Flow-Perfusion in Hypothermie haben wir eine „Beating-Heart-Modifikation“ dieses Operationsverfahrens entwickelt. Mit dieser Technik ist es uns möglich, Aortenbogenrekonstruktionen ohne kardioplegischen Herzstillstand durchzuführen. Operationen, welche man wegen langer Ischämie- oder Kreislaufstillstandszeiten zur Risikominimierung als zweizeitigen Eingriff vornehmen würde, können so in einer Sitzung durchgeführt werden. Durch Vermeidung des hypothermen Kreislaufstillstandes ist zu erwarten, dass bei ausreichender Kopfperfusion auch wesentlich weniger neurologische Defizite entstehen [1, 6]. Durch moderates Abkühlen wird weniger in die Gerinnungskaskade eingegriffen. Die Blutungsneigung ist dadurch deutlich reduziert. Einen weiteren positiven Effekt stellt die insgesamt kürzere Bypasszeit dar. Dies bedeutet kürzere Gesamtoperationszeiten, was somit auch zu Kostenreduktion bzw. freien OP-Kapazitäten führt.

SCHLÜSSELWÖRTER

Aortenbogenrekonstruktion, Low-Flow-Perfusion, Kopfperfusion, Beating Heart, Hypothermie, Circulus arteriosus Willisii.

ABSTRACT

Aortic arch reconstruction is commonly performed under deep hypothermia (15–18 °C body temperature) with circulatory arrest. Alternatively cardioplegic arrest with selective brain perfusion during aortic arch clamping has been established. Our recent experience with this technique in Low-Flow-Perfusion has given us the idea of modifying the original concept into a beating-heart model. This technique allows aortic arch reconstruction without any period of cold cardioplegic cardiac arrest. Some corrective operations, often still performed in two stages, because of long by-

pass and clamping times, are indications to use our modification. Avoiding circulatory arrest, reducing bypass and clamping times makes one-step corrections safer. Less neurologic complications are expected if brain perfusion is sufficient. Moderate cooling causes less blood damage and allows continuous heart-contractions during the whole procedure. Further post-bypass coagulopathy with diffuse bleeding is avoided. This means reductions in bypass-time and costs. Less time-consuming surgery is giving us the opportunity of more theatre-capacity.

KEY WORDS

Aortic arch reconstruction, low-flow perfusion, brain perfusion, beating heart, hypothermia, Circulus arteriosus Willisii.

EINLEITUNG

Aortenbogenrekonstruktionen werden allgemein in tiefer Hypothermie mit kurzfristigem Kreislaufstillstand bei 15–18 °C Körperkerntemperatur (rektal gemessen) durchgeführt. Alternativ hat sich heutzutage auch der kardioplegische Herzstillstand mit selektiver Kopfperfusion während der Bogenkorrektur etabliert [1]. Aufgrund unserer Erfahrungen mit dem zuletzt genannten Verfahren haben wir eine Weiterentwicklung dieser Operationstechnik als „Beating-Heart-Modifikation“ vorgenommen [2]. Wir tolerieren dabei höhere Körperkerntemperaturen bei kontinuierlicher Hirnperfusion. Bei gleichzeitiger Myokardperfusion sind so auch unnötige Ischämiezeiten des Herzens zu vermeiden.

Anhand zweier Fallberichte stellen wir verschiedene Methoden unserer „Beating-Heart-Modifikation“ bei unterschiedlichen Begleiterkrankungen vor.

METHODEN CASE REPORT 1:

Ein 61 Monate altes männliches Kleinkind mit isolierter Aortenbogenhypoplasie. Der Patient (16,5 kg, 109 cm) wurde an ein Standard-HLM-Kinderset (Lilliput II Di-deco) angeschlossen.

Arterielle Kanülierung der Aorta ascendens nahe am Bogen (Abb. 1) und venöse Kanülierung des rechten Vorhofes. Der Sollfluss wurde für einen Cardiac-Index von 2,6 l/min/m² berechnet. Mit Anfahren

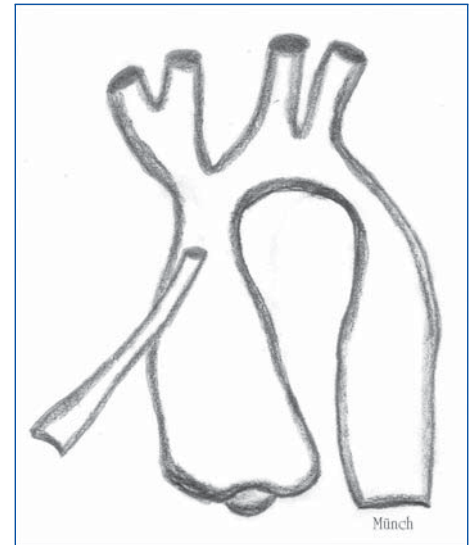


Abb. 1: Kanülierung der Aorta nahe des Bogens bei Aortenbogenhypoplasie. In der Low-Flow-Phase muss die arterielle Kanüle nur noch in den Truncus brachiocephalicus vorgeschoben werden, ohne „Umkanülierung“ und damit verbundenen EKZ-Stillstand.

der EKZ wurde mit der moderaten Abkühlung begonnen. Nach Erreichen einer rektalen Temperatur von 28,4 °C wurde die Aortenkanüle (Edwards RMI 12 Fr. Fem-Flex II) von der Aorta in den Truncus brachiocephalicus vorgeschoben, fixiert und mit 30 % des errechneten Sollflusses perfundiert. Abgehend von der Aortenkanüle wurde eine Perfusionslinie an eine in der Aorta ascendens liegende Aortic-Root-Kanüle angeschlossen. Anschließend wurde das Operationsgebiet ausgeklemmt (Aorta ascendens oberhalb der Aortic-Root-Kanüle, A. carotis links, A. subclavia links und Aorta descendens). Die Koronarperfusion blieb über den Seitenarm der Aortenkanüle zur Aortic-Root-Kanüle erhalten (Abb. 2). Das EKG wurde sorgfältig auf das Auftreten von Ischämiezeichen überwacht. Zur Entlastung des linken Ventrikels wurde zusätzlich ein Vent über die rechte obere Pulmonalvene in den linken Vorhof eingelegt. So wird das an der venösen Kanüle vorbeifließende Blut in die HLM drainiert.

Nach Beendigung der Korrektur erfolgte die retrograde Entlüftung des Aortenbogens. Nach Entfernen der Klemmen wurde die Aortenkanüle repositioniert. Es erfolgte die kontrollierte Reperfusion mit Wiedererwär-

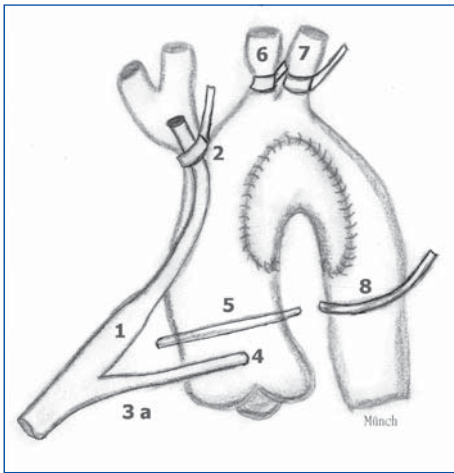


Abb. 2: HLM-Anschlüsse und Technik für die Methode Case Report 1. Die Aortenkanüle (1) wird von der Aorta in den Truncus brachiocephalicus vorgeschoben und mittels Tourniquet so fixiert, dass aus dem Truncus kein Rückfluss möglich ist (2). Über die Aortenkanüle wird mit 30 % des errechneten Sollflusses perfundiert. Abgehend von der Aortenkanüle wird mittels einer Verlängerung ein Seitarm (3a) an eine in der Aorta ascendens liegende Aortic-Root-Kanüle (4) angeschlossen. Anschließend wurde das Operationsgebiet ausgeklemmt. Aorta ascendens oberhalb der Aortic-Root-Kanüle (5), A. carotis links (6), A. subclavia links (7) und Aorta descendens (8). Die Koronarperfusion blieb über den Seitarm (3a) der Aortenkanüle zur Aortic-Root-Kanüle erhalten. Zur Entlastung des linken Ventrikels wird zusätzlich ein Vent über die rechte obere Pulmonalvene in den linken Vorhof eingelegt.

men des Patienten. Die EKZ mit kontinuierlicher konventioneller Ultrafiltration wurde nach 111 Minuten beendet. Die Low-Flow-Phase mit Aortenabklemmung am schlagenden Herzen betrug dabei 28 Minuten, 43 Minuten entfielen auf die Reperfusion. Bei der anschließenden 20-minütigen modifizierten Ultrafiltration (MUF DeLuxe) [2] wurden 650 ml Hämofiltrat entzogen, wodurch sich die Hämodynamik weiter verbesserte.

METHODEN CASE REPORT 2:

Es handelt sich um einen 17-jährigen männlichen Jugendlichen mit einem kombinierten Aortenklappenvitium (Stenose II°, Insuffizienz III°) so wie einer Rezidiv-Aortenisthmusstenose mit begleitender Aortenbogenhypoplasie.

Anamnese: Z. n. Patch-erweiterung einer hochgradigen Aortenisthmusstenose 2/87; Z. n. Kom-

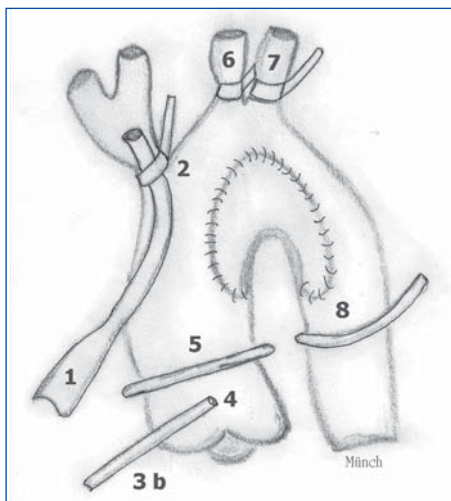


Abb. 3a und 3b: HLM-Anschlüsse und Technik für die Methode Case Report 2. Die in der Aorta ascendens liegende Aortic-Root-Kanüle (4) wird mit einer separaten Leitung (3b) verbunden. Diese wird mittels der MUF-Pumpe mit 10 % errechnetem HZV an der in der Aorta ascendens liegenden Aortic-Root-Kanüle (4) angeschlossen. Anschließend wird die Aortenkanüle von der Aorta in den Truncus brachiocephalicus vorgeschoben und mittels Tourniquet so fixiert, dass der Truncus (2) praktisch ausgeklemmt ist. Mit 20 % des errechneten Sollflusses wird dieser anfänglich perfundiert. Das Operationsgebiet wird für die Korrektur ausgeklemmt. Aorta ascendens oberhalb der Aortic-Root-Kanüle (5), A. carotis links (6), A. subclavia links (7) und Aorta descendens (8). Die Koronarperfusion blieb so über die „MUF DeLuxe“-Pumpe gewährleistet. Zur Entlastung des linken Ventrikels wird zusätzlich ein Vent über die rechte obere Pulmonalvene in den linken Vorhof eingelegt.

missurotomie einer kritischen valvulären Aortenstenose 2/97.

Diagnosen: Mittelgradige valvuläre Restortenstenose, Aortenklappeninsuffizienz III°; Aortenisthmusstenosenrezidiv mit hypoplastischem Aortenbogen; Mitralklappeninsuffizienz I° bei dysplastischer Mitralklappe; familiärer Kleinwuchs.

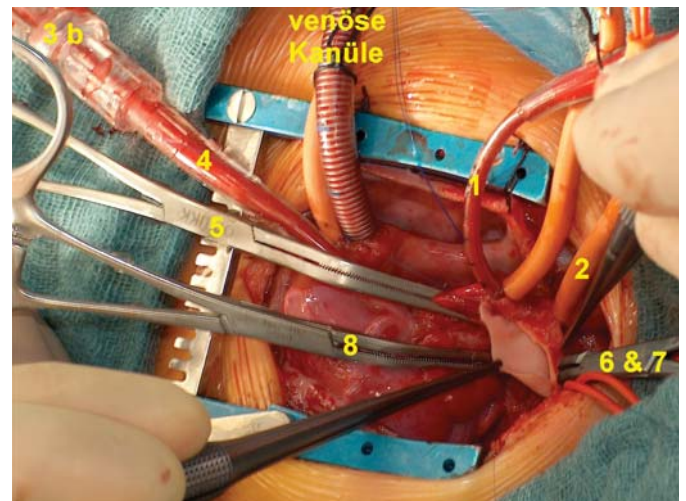
Geplante Operation: Aortenklappenersatz und Aortenbogenpatcherweiterung bis in die Aorta descendens. Um eine lange Ischämiezeit des Herzens zu vermeiden, wurde der Eingriff als konventioneller Aortenklappenersatz mit kardioplegischem Herzstillstand und anschließender Bogen-erweiterung in Beating-Heart-Technik geplant.

Der Patient (38,0 kg, 160 cm) wurde an ein für Jugendliche konfiguriertes Standard-HLM-Set (905 EOS Dideco) angeschlossen. Der Sollfluss wurde für einen Cardiac-Index von 2,6 l/min/m² berechnet. Dies entspricht einem errechneten HZV von 3,38 l/min. Die Kanülierung erfolgte arteriell mit einer geraden Aortenkanüle (Edwards RMI 16 Fr. Fem-Flex II) und venös mit einer Zweistufenkanüle (Medtronic dlp MC2, 32/40 Fr.). Zur Myokardperfusion und Entlüftung wurde eine Aortic-Root-Kanüle (Jostra CA 21 V, 9 Fr.) verwendet. Die Myokardprotektion erfolgte selektiv mit einem Koronarostien-Katheter (Polystan 5 mm). Das linke Herz wurde über einen handelsüblichen Vent-Katheter (Jostra LVF, 15 Fr.) entlastet.

Arterielle Kanülierung der Aorta ascendens nahe am Bogen (s. Abb. 1) und venöse Kanülierung des rechten Vorhofes. Nach

Anfahren der EKZ Beginn der moderaten Abkühlung mit einer rektalen Zieltemperatur von 28 °C. Abklemmen der Aorta ascendens mit Anflimmern des Herzens sowie Eröffnung der Aorta. Gabe von 800 ml kristalloider Kardioplegie (Custodiol) über den Koronarostien-Katheter direkt in das linke Koronarostium. Eine Kardioplegiegabe in das hypoplastische rechte Koronarostium war aus anatomischen Gründen nicht möglich. Anschließend wurde die Aortenklappe durch eine mechanische 18-mm-Sorin-Overline-Prothese ersetzt. Nach 40-minütiger Ischämie wurde erneut 400 ml Kardioplegie in das linke Koronarostium verabreicht. Nach 60 Minuten Ischämie wurde bei kontinuierlicher Entlüftung über die Aortic-Root-Kanüle die Aortenklappe geöffnet. Das Herz begann langsam im Sinusrhythmus zu schlagen.

Nach Eröffnen der Aorta hatte der Patient eine rektale Temperatur von 28,4 °C erreicht. Die in der Aorta ascendens liegende Aortic-Root-Kanüle wurde nach vollständiger Entlüftung des linken Ventrikels mit einer separaten Leitung verbunden [3]. Die Koronarperfusion wurde über die MUF-Pumpe mit 10 % errechnetem HZV gewährleistet [4]. Anschließend wurde die Aortenkanüle von der Aorta in den Truncus brachiocephalicus vorgeschoben und mit einem Tourniquet fixiert. Mit 20 % des errechneten Sollflusses wurde dieser perfundiert. Das Operationsgebiet wurde zur Korrektur selektiv ausgeklemmt. Aorta ascendens oberhalb der Aortic-Root-Kanüle, A. carotis links, A. subclavia links und Aorta descendens (Abb. 3a und 3b). Die Kor-



narperfusion blieb so über die Förderleistung der MUF-Pumpe bei ausgeklemmtem Operationsgebiet gewährleistet. Das EKG wurde sorgfältig auf das Auftreten von Ischämiezeichen überwacht. Zur Entlastung des linken Ventrikels wurde zusätzlich ein Vent über die rechte obere Pulmonalvene in den linken Vorhof eingelegt. Aufgrund einer Bradykardie mit EKG-Veränderungen wurde der koronare Fluss für das Herz von 10 % auf 15 % HZV erhöht. Gleichzeitig lag ein Druckanstieg in der A. radialis vor. Um die Autoregulation der Gehirngefäße zu erhalten, sollte der Druck in der rechten A. radialis (entspricht ungefähr dem Druck in der rechten A. carotis) nicht über 60 mmHg steigen [5]. Dies konnte durch schrittweise Reduktion des Flusses zum Truncus brachiocephalicus von 20 % auf 15 % HZV erreicht werden, ohne die Myokardperfusion zu beeinflussen.

Nach Beendigung der Korrektur erfolgte die retrograde Entlüftung des Aortenbogens. Mit Zurückziehen der Aortenkanüle aus dem Truncus brachiocephalicus in die Aorta ascendens und Entfernen aller Klemmen konnte das HZV wieder erhöht werden. Die separate Perfusion durch die Aortic-Root-Kanüle wurde beendet. Die Kanüle wurde anschließend als Entlüftungsvent während der Reperfusion mit Wiedererwärmen des Patienten verwendet. Die EKZ mit kontinuierlicher konventioneller Ultrafiltration von 1600 ml Filtrat konnte nach 182 Minuten beendet werden. Die Klemmzeit der Aorta für den Aortenklappenersatz betrug 60 Minuten. Auf die Low-Flow-Phase mit kontinuierlich schlagendem Herzen entfielen 27 Minuten, in denen wir den Aortenbogen mittels eines Patches erweiterten. Die Reperfusionszeit des Herzens betrug 112 Minuten, wovon 57 Minuten für die Wiedererwärmung auf 36 °C Rektaltemperatur entfielen. Bei der anschließenden 20-minütigen modifizierten Ultrafiltration (MUF DeLuxe) wurden 1400 ml Hämofiltrat entzogen. In dieser Zeit wurden 400 ml FFP gegeben [4].

METHODENVERGLEICH BZW. WEITERENTWICKLUNG UND MANAGEMENT

Beide von uns beschriebenen Methoden ermöglichen eine Aortenbogenrekonstruktion in Beating-Heart-Modifikation. Mit der Methode 1 ist es uns allerdings nicht möglich gewesen, die Kopf- und Koronarperfusion separat zu steuern. Die Perfusion der gewünschten Areale war von den Kanülen bzw. deren unterschiedlichen Größenverhältnissen zueinander abhängig. Die

Umstellung auf Methode 2 hatte den Vorteil, dass wir sowohl die Hirnperfusion als auch die Koronarperfusion separat steuern konnten. Damit war es möglich, den Fluss abhängig vom Gewebebedarf in die eine oder andere Richtung zu steuern. Eine Abhängigkeit von den Kanülengrößen war somit nicht mehr gegeben. Bei Anwendung der Methode 1 waren wir in einem anderen Fall gezwungen, das Herz mit Hilfe von Kardioplegie konventionell still zu stellen, da zunehmend EKG-Veränderungen auftraten, die auf eine Minderperfusion des Herzens hinwiesen. Uns war es durch die „Einarmsteuerung“ nicht möglich, zur Normalisierung des EKGs den Flow entsprechend zu erhöhen, ohne hohe Drücke in der A. radialis rechts in Kauf zu nehmen. Dies kann bei nun gestörter Autoregulation der Gehirngefäße eine Minderperfusion oder eine massive Überperfusion des Kopfes zur Folge haben. Als mögliche Folgen wären ein ausgedehnter Hirninfarkt oder ein massives Hirnödem mit Hirndruckzeichen und eventuell sogar Einblutungen möglich. Minderperfusions des Myokards sind seit Umstellung auf die separate Steuerung der Koronarperfusion nicht mehr aufgetreten.

Bei Anwendung des vorgestellten Falles von Methode 2 wurde ein kardioplegischer Herzstillstand infolge des kombinierten Eingriffes nur für den Aortenklappenersatz nötig. Auf eine Mehrbelastung des Myokards und des Gehirns durch Verlängerung

der Ischämiezeit und Anwendung des tiefen hypothermen Kreislaufstillstands zur Aortenbogenerweiterung konnte so verzichtet werden.

Beim Anwenden der Methode 2 mit der separaten Perfusion muss einiges bezüglich der Zirkulation im EKZ-Kreislauf beachtet werden (Abb. 4). *Der mit der arteriellen Pumpe geförderte Fluss ist immer die Summe von Koronarperfusion plus Kopfperfusion. Diese beiden Pumpen müssen also immer gemeinsam gesehen und bedient werden. Dies war bei der Methode 1 nicht nötig.*

Gesteigerte Aufmerksamkeit zur Druck- und EKG-Überwachung in der Beating-Heart-Phase (gemeinsam mit dem Anästhesisten) sind unabdingbar. Das optimierte Druckmonitoring für Operationen am Aortenbogen wird in unserer Klinik durch die Anästhesie mit Anlage zweier arterieller Druckmesslinien gewährleistet. Eine Druckmessleitung wird in die rechte A. radialis bzw. A. brachialis gelegt. Diese Druckmessung dient der Überwachung des Perfusionsdrucks und während der Low-Flow-Phase des zerebralen Blutdrucks.

Die zweite Druckmesslinie wird in eine der beiden Aa. femorales eingelegt. Über die Druckmessung beider Arterien kann der Gradient über dem Aortenbogen vor und nach Korrektur dokumentiert werden. Zusätzlich dient die Druckmessung in der A. femoralis zur Abschätzung einer möglichen Perfusion der unteren Körperhälfte während der Low-Flow-Phase.

Uns ist im Rahmen dieser Eingriffe aufgefallen, dass während der Low-Flow-Phase immer ein niedriger Druck in der A. femoralis messbar ist. Wir gehen davon aus, dass eine kollaterale Perfusion der unteren Körperhälfte über den Circulus arteriosus Willisii zustande kommt.

Der Circulus arteriosus Willisii ist für die Verteilung des Blutes im Gehirn verantwortlich. Er kann gewährleisten, dass selbst bei einseitiger Carotisstenose das komplette Gehirn über die gesunde Gegenseite ausreichend mit sauerstoffreichem Blut versorgt wird.

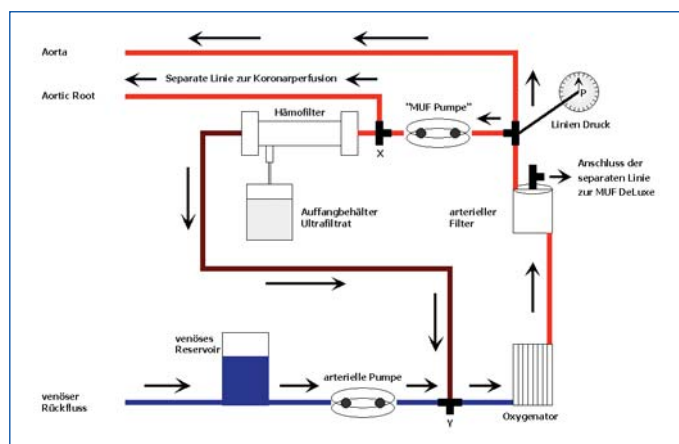


Abb. 4: Schematische Darstellung eines EKZ-Kreislaufes mit separater Perfusionsmöglichkeit. Venöses Blut kommt passiv vom Patienten (rechter Vorhof) ins Reservoir. Mit Hilfe der arteriellen Pumpe wird über den Oxygenator und arteriellen Filter das angereicherte Blut in den Patientenkreislauf (Aorta bzw. Truncus brachiocephalicus) zurückgepumpt. Während der Low-Flow-Phase wird mittels der MUF-Pumpe arterielles Blut zur definierten Koronarperfusion abgenommen. Eine separate Linie ist sowohl am High-Flow-Drei-Wege-Hahn X sowie an der Aortic-Root-Kanüle angeschlossen. Der Drei-Wege-Hahn X befindet sich nach der MUF-Pumpe, aber noch vor dem Hämofilter. Der Drei-Wege-Hahn Y wird zum Hämofilter verschlossen, um eine nicht definierte Filtration retrograd zu verhindern. Wichtig hierbei ist, dass die MUF-Pumpe nie mehr fördert als die arterielle Pumpe. In dem Fall wäre keine Kopfperfusion vorhanden und es besteht die Möglichkeit, dass Luft durch Unterdruck bzw. Ansaugen ins EKZ-System gezogen wird.

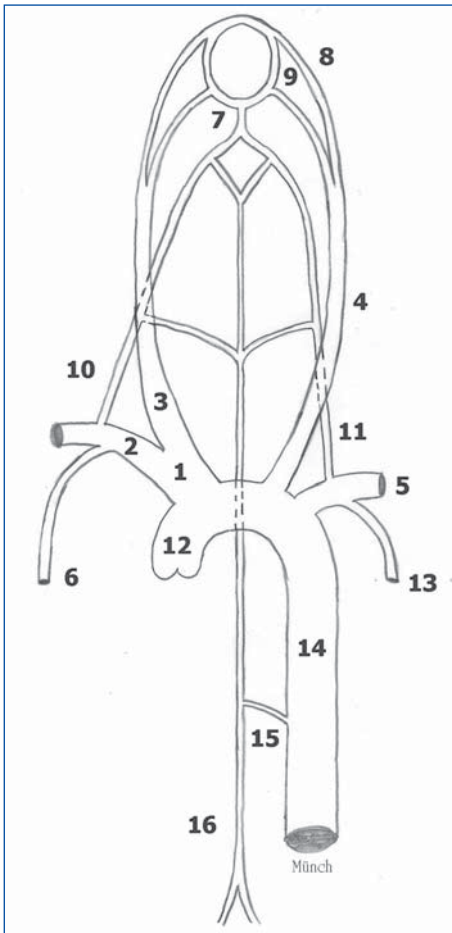


Abb. 5: Kollaterale Verbindungen des Circulus arteriosus Willisii (Circulus arteriosus cerebri), modifiziert nach Hjortdal, Tsang et al:

1. Truncus brachiocephalicus
2. A. subclavia rechts
3. A. carotis communis rechts > A. carotis interna rechts und A. carotis externa rechts
4. A. carotis communis links
5. A. subclavia links
6. A. thoracica interna rechts (Mammaria) > A. epigastrica > A. iliaca communis
7. A. basilaris
8. A. cerebri anterior
9. A. cerebri media
10. A. vertebralis rechts
11. A. vertebralis links
12. Aorta ascendens
13. A. thoracica interna links (Mammaria) > A. epigastrica > A. iliaca communis
14. Aorta descendens
15. A. Adamkiewicz
16. A. spinalis

sorgt wird. Der Circulus arteriosus Willisii hat Verbindungen zum Rückenmark sowie auch zur unteren Körperhälfte. Die Anbindung an die untere Körperhälfte erfolgt über die A. vertebralis und über die A. subclavia zur A. thoracica interna (Mammaria) (Abb. 5 und Abb. 6).

DISKUSSION

Trotz vieler Publikationen zum Low-Flow-Management bleiben noch viele offene Fragen. Sind 30 % HZV sinnvoll oder zu viel bzw. zu wenig Flow für die Kopfperfusion? Physiologische Untersuchungen unter die-

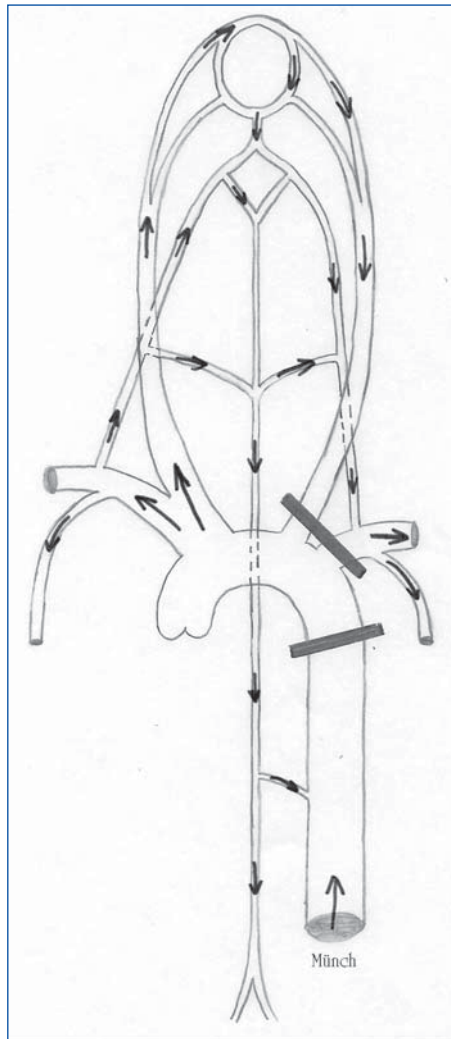


Abb. 6: Arterielle Blutverteilung über den Circulus arteriosus Willisii während der Low-Flow-Phase. Beschriftung analog zu Abb. 5. Beginnend von Truncus brachiocephalicus (1) über die A. subclavia rechts (2), absteigend in die Mammaria rechts (6), weiter bis zur A. iliaca. Aufsteigend in die A. vertebralis rechts (10) über die A. basilaris (7) zur A. vertebralis links (11), weiter zur A. subclavia links (5) und Mammaria links (13), wo sich das Blut weiter aufteilt. Dieses Blut kommt retrograd wieder in die Aorta descendens (14) bzw. in die Aorta abdominalis, wo es die peripheren Organe versorgt. Vom Truncus brachiocephalicus (1) aufsteigend über die A. carotis communis rechts (3), die sich weiter in die A. carotis interna und externa aufspaltet. Weiter erfolgt die Verteilung über die A. cerebri anterior (8), media (9) weiter zur A. carotis interna links (4) und A. carotis externa links. Des Weiteren versorgt das Blut über die A. basilaris (7) genau wie schon über die vertebralis rechts (10) das Rückenmark.

sen Bedingungen sind in der Literatur für den Menschen praktisch nicht vorhanden. Grundsätzlich sind wir der Meinung, dass Low Flow besser ist als „no flow“. Flussmessungen an der A. carotis rechts während Aortenbogeneingriffen haben uns gezeigt, dass sich bei geklemmter Gegenseite mit 30 % HZV der Fluss im perfundierten Gefäß faktisch verdoppelt. Wir gehen, zum jetzigen Zeitpunkt, davon aus, dass dies der

geeignete Fluss ist. Besagte Flussmenge würde das Gehirn ja auch über beide Carotiden erreichen, wenn nicht zur Korrektur einseitig ausgeklemmt wäre. Durch den Circulus arteriosus Willisii wird unserer Ansicht nach der Fluss von einer Seite während der Low-Flow-Phase wahrscheinlich auf alle Areale gleichmäßig verteilt (s. Abb. 6). Auch wenn wir davon ausgehen, dass wir alle Bereiche gleichartig perfundieren, so haben wir dennoch keinen Beweis hierfür. Zur Sicherheit wird in der Low-Flow-Phase der Kopf zusätzlich noch von außen mit Eis gekühlt.

Für die Low-Flow- bzw. Beating-Heart-Technik sind wir uns sicher, dass das Gehirn ausreichend gut perfundiert und damit geschützt ist. Wie aber sieht es in den unteren Körperregionen aus? Immer häufiger werden auf den Intensivstationen andere Probleme wie Nierenversagen, Leberfunktionsstörungen und Darmverschlüsse registriert. Unser einziger Marker für eine ausreichende Perfusion während der EKZ-Zeit ist neben Säure-Basen-Haushalt und Laktatbestimmung, welche allerdings nur nachträglich eine schon geschehene Minderperfusion anzeigen, die Urinausscheidung über die Niere. Ist unser Monitoring ausreichend oder benötigen wir hier mehr an Informationen, um eine optimale Perfusion aller Bereiche sicherzustellen? Können wir dann durch ein verändertes Blutgasmanagement, z. B. pH-Stat, mehr an Perfusion und Organprotektion erreichen? Ist mehr HZV in der EKZ nötig oder kommt es zur Überperfusion des Kopfes mit Hirnödemen und neurologischen Ausfällen?

Wir haben trotz höherer Körperkerntemperaturen mit daraus folgendem erhöhten Sauerstoffverbrauch im Vergleich zu tiefer Hypothermie und Kreislaufstillstand bis dato noch keine negativen Erfahrungen gemacht. Neurologische oder abdominelle Komplikationen wurden bis dato nicht beobachtet. Wir gehen daher davon aus, dass über den Circulus arteriosus Willisii Gehirn und Kreislaupерiphery ausreichend versorgt werden. Anatomische Besonderheiten der operierten Patienten tragen hierzu sicher bei. Patienten mit Isthmusstenose oder unterbrochenem Aortenbogen nutzen natürlich vorliegende Kollateralsysteme aus. So ist die A. thoracica interna (Mammaria) kompensatorisch meistens deutlich vergrößert und kann die untere Körperhälfte notdürftig versorgen. Die Beating-Heart- bzw. Low-Flow-Operationstechnik wird meist zur Korrektur o. g. Erkrankungen angewandt, daher dürfte die untere Körperhälfte bei diesen Patienten in jedem Fall

über die A. subclavia rechts bzw. deren Anbindung an den Circulus arteriosus Willisii besser perfundiert sein als bei Patienten ohne Stenose. Um aber auf jeden Fall die optimale Perfusion zu erreichen, sollten die Gefäße medikamentös (z. B. Nipruss) zusätzlich maximal erweitert werden. Hohe Perfusionsdrücke im Gehirn (>60 mmHg) mit den möglichen negativen Folgen können so vermieden werden. Gleichzeitig wird durch Senkung des Widerstandes in den Abstromgebieten der natürlichen Kolateralen die Perfusion in den abhängigen Organregionen verbessert.

SCHLUSSFOLGERUNGEN

Aortenbogenhypoplasien können mit Anwendung der beschriebenen Technik sicher korrigiert werden. Ein Umgehen des hypothermen Kreislaufstillstandes bedeutet infolge der kontinuierlichen Hirnperfusion eine mögliche Reduktion neurologischer Defizite bei ausreichenden Flussraten und angepasster Perfusionstemperatur. Bei isolierter Aortenbogenhypoplasie ist es möglich, ganz auf den Herzstillstand zu verzichten und die Korrektur in Beating-Heart-Technik durchzuführen. Bei Vorhandensein von weiteren Defekten (z. B. Aortenklappenvitien, ASD, VSD, AV-Kanal, TGA, Taussig-Bing-Anomalie) können unter Anwendung der beschriebenen Technik extrem lange Ischämiezeiten, mit allen damit verbundenen Nachteilen, vermieden werden. Moderates Abkühlen bedeutet verkürzte Wiedererwärmungszeit und damit kürzere EKZ-Zeit bei ausreichender Neuroprotektion. Die Blutungsneigung ist bei milder Hypothermie gegenüber tiefer Hypothermie wesentlich geringer ausgeprägt.

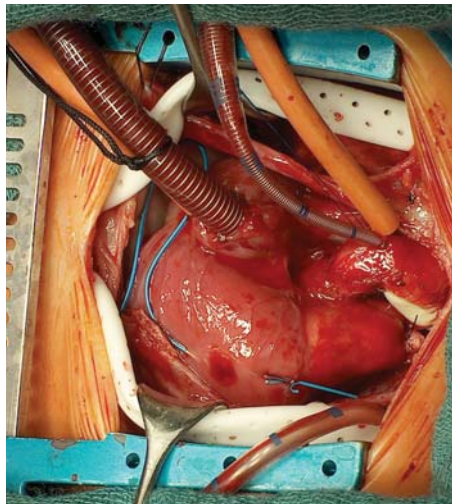


Abb. 7: Ergebnis der Korrektur nach Methode 2 Aortenbogenrekonstruktion Beating Heart

Die Aortenbogenrekonstruktion als „Beating Heart“, vor allem mit definierter separater Perfusion, ist eine gute Technik, wenn sich Kardiotechniker, Anästhesist und Chirurg genau abstimmen. Kommunikationsprobleme oder Unaufmerksamkeiten können leicht zu Über- bzw. Minderperfusion einzelner Bereiche, Herzflimmern und zur myokardialen Überdehnung führen. Mit den Anästhesisten muss eine gute Abstimmung des Elektrolyt-Haushaltes, vor allem des Kaliums, vorgenommen werden, da bei reiner Beating-Heart-Technik keine Kardioplegie gegeben wird, die den Kaliumspiegel bei kontinuierlichen Verlusten (Urin, Filtration) intraoperativ normalisiert. Der angestrebte Wert von 4,5–5,1 mmol/l wird mit unserem Standardpriming durch die Hämodilution nach Anfahren der EKZ häufig unterschritten. Für diese Fälle sollte man über zusätzliches Kalium im Priming

nachdenken, um der Flimmerneigung des Myokards entgegenzuwirken.

LITERATUR

- [1] Cesnjevar R: Aortenbogenstenosenkorrektur in tiefer Hypothermie mit „Low-Flow-Perfusion“ ohne Kreislaufstillstand. *Kardiotechnik* 2004; 3: 77–80
- [2] Münch F: Aortenbogenrekonstruktion – Beating Heart – Fallbeispiel Jahrestagung DGfK, Celle 2004
- [3] Bechtold J: Operation des hypoplastischen Aortenbogens bei Neugeborenen am schlagenden Herzen unter Einsatz der für die Ultrafiltration eingesetzten Rollerpumpe zur separaten Perfusion der Koronararterien. *Jahrestagung DGfK, Celle 2004*
- [4] Münch F: „MUF DeLuxe“ – Erlanger Verfahren der modifizierten Ultrafiltration. *Kardiotechnik* 2003; 4: 138–141
- [5] Hetzel A: Pathophysiologie der Cerebralen Perfusion. *Homepage Neurologische Universitätsklinik Freiburg: www.stroke-unit.uniklinik-freiburg.de/blutdruck_pathophysio.htm*
- [6] Tassani P: Kreislaufstillstand in tiefer Hypothermie versus Low-Flow-Perfusion zur Operation angeborener Herzvitien. *Kardiotechnik* 2001; 2: 41–45
- [7] Hjortdal VE: Implications of anomalous right subclavian artery in the repair of neonatal aortic coarctation. *Soc Thorac Surgeons* 2003; 76: 572–575

Frank Münch ECCP
Zentrum für Herzchirurgie
Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg
Krankenhausstraße 12
91054 Erlangen
E-Mail:
fkmuench@herz.imed.uni-erlangen.de

Lfd. Nr.	Operation	Gewicht in kg	Alter in Tage	Aorten-klemmzeit in min	Low-Flow zur Bogenkorrektur	Myokard-Ischämie	EKZ-Zeit	Reperfusion	tiefste Rektal-Temp.
1.	Bogen, ASD	3,30	11	45	37	8	213	109	15
2.	Bogen, VSD, ASD	2,80	4	77	20	57	177	65	19
3.	Bogen, VSD, ASD	4,20	80	32	12	20	139	71	18,4
4.	Bogen	16,50	1861	28	28	0	111	43	28,4
5.	Bogen, AKE	38,00	6369	85	25	60	182	111	27,7
6.	Bogen	3,50	12	24	24	0	98	43	26,7
7.	Bogen	2,71	5	38	38	0	129	58	26,3
8.	Bogen, ASD	2,80	12	32	28	4	112	26	26,6
9.	Bogen, ASD	3,30	6	32	28	4	128	48	26
10.	Bogen	4,20	7	27	33	0	120	0	26,1
	Mittelwert	8,13	837	42,00	27,30	15,30	140,90	57,40	24,02
	Stabwbn	10,71	1924	20,36	7,39	22,37	35,37	32,50	4,45