

Thorakotomie und Skoliosekorrektur bei univentrikulärem Herzen

Zusammenfassung

Wir berichten den Fall eines 15-jährigen Jungen mit singulärem linken Ventrikel, der sich nach erfolgter totaler kavopulmonaler Konnektion (Fontan-Kreislauf) und progredienter idiopathischer Skoliose einer zweizeitigen Korrekturoperation der Wirbelsäule unterziehen musste. Die Fontan-Zirkulation ist gekennzeichnet durch die funktionelle Ausschaltung des rechten Ventrikels; hierbei strömt das Blut aus dem Systemkreislauf direkt passiv in die Pulmonalarterie zurück. Damit gewinnen zentralvenöse Vorlast sowie pulmonalvaskulärer Widerstand wesentliche Bedeutung für das Herzzeitvolumen. Beide Anästhesien wurden volumenbetont nach Einleitung mit Etomidat intravenös mit Propofol und Fentanyl unter Verzicht auf N₂O fortgeführt. Steigerungen des systemischen- und pulmonalvaskulären Widerstands wurden vermieden. Die stabilsten hämodynamischen Verhältnisse wurden bei zentralvenösen Drücken um 20 mmHg beobachtet. Unter dem Aspekt des Wahleingriffs und der individuellen Nutzen-Risiko-Abschätzung müssen taktische Handlungsalgorithmen vorab auf der Basis der individuellen Physiologie/Pathophysiologie des Patienten definiert werden. Nur so können Reaktionszeiten für notwendige Interventionen kurz gehalten werden.

Schlüsselwörter

Univentrikuläres Herz · Fontan-Zirkulation · Skoliose · Pulmonalkapillärer Blutfluss · Elektiveingriff · Zentralvenöser Druck · Pulmonalarterieller Druck

Die Lebenserwartung von Patienten mit komplexen kongenitalen Herzvitien ist in den vergangenen Jahren durch entsprechende kardiochirurgische Operationstechniken deutlich gestiegen [5, 8]. Zur Therapie von Begleiterkrankungen, die erst in der Adoleszenz oder später operationswürdig sind, werden diese Patienten daher heute in verstärktem Maße auch in primär nichtkardiochirurgisch tätige Zentren aufgenommen. Ein Beispiel hierfür sind operative Korrekturen idiopathischer Skoliosen [7] bei kardiochirurgisch versorgten Jugendlichen, die bei Progredienz im Langzeitverlauf zur weiteren Einschränkung der hämodynamischen Situation führen können [2] (Abb. 1a).

Nach Trikuspidalatresie und Versorgung durch totale kavopulmonale Konnektion (Fontan-Operation) wurden erfolgreiche Schwangerschaften berichtet [4, 10]. Die Fontan-Zirkulation ist durch die funktionelle Ausschaltung des rechten Ventrikels gekennzeichnet [5]; hierbei strömt das Blut aus dem Systemkreislauf aus *V. cava superior* und *-inferior* direkt passiv in die Pulmonalarterie zurück. Damit gewinnen zentralvenöse Vorlast sowie pulmonalvaskulärer Widerstand wesentliche Bedeutung für das Herzzeitvolumen. So finden sich bei diesen Patienten neben erhöhten zentralvenösen Drücken (15 ± 4 mmHg) reduzierte Herzzeitvolumina ($2,3 \pm 0,6$ l/min/m²) und eine eingeschränkte Belastungstoleranz [15]. Im Rahmen eines elektiven operativen Eingriffs unter Allgemeinanästhesie mit entsprechenden Volumen-

verschiebungen und Blutverlusten muss daher ein engmaschiges Monitoring der relevanten Parameter durchgeführt werden. Darüber hinaus sollten Handlungsalgorithmen für eine Reihe möglicher Situationen definiert, entsprechende Absprachen getroffen und erforderliches Material vorgehalten werden.

Wir berichten den Fall eines 15-jährigen Jungen mit singulärem linken Ventrikel (Abb. 2), der sich nach erfolgter totaler kavopulmonaler Konnektion und progredienter idiopathischer Skoliose (Skoliosewinkel nach Cobb thorakal 74° lumbal 63°) zunächst einer Thorakotomie zur ventralen Derotationsspondylodese (VDS) unterziehen musste [7]. Dieser Eingriff erfolgt üblicherweise in Seitenlage unter seitengetrennter Ventilation. Die weiterhin geplante dorsale Distractions- und Kompressionsspondylodese mit autologer Spondylodese erfolgte dann 6 Wochen später in einem zweiten Eingriff in Bauchlage [7].

Zur späteren Analyse wurden anästhesierelevante Patientendaten fortlaufend [Blutdruckmessung nach RR, Herzfrequenz (HF), zentralvenöser Druck (ZVD), arterielle Sauerstoffsättigung (SaO₂), Tidalvolumen, Beatmungsdrücke, Atemgaszusammensetzung im 5-

PD Dr. A. R. Heller D.E.A.A.
Klinik und Poliklinik für Anaesthesiologie
und Intensivtherapie,
Universitätsklinikum Carl Gustav Carus,
Fetscherstrasse 74, 01307 Dresden,
E-Mail: axel.heller@mailbox.tu-dresden.de

Thoracotomy and scoliosis surgery in a patient with a univentricular heart

Abstract

We report the case of a 15-year-old boy with a single left ventricle who underwent total cavopulmonary connection (Fontan circulation). Due to a progredient idiopathic scoliosis he had to undergo two surgical correction procedures of the vertebral column. Fontan circulation is characterized by the functional absence of the right ventricle. Blood from the systemic circulation passively flows directly into the pulmonary artery. Therefore, central venous preload as well as pulmonary vascular resistance gain essential significance for cardiac output. After volume preload, in both procedures anaesthesia was induced with etomidate and maintained intravenously with propofol and fentanyl but without N₂O. Increases of the systemic and pulmonary vascular resistance were avoided. A central venous pressure of 20 mmHg was clinically associated with the most stable haemodynamics. In view of the electiveness of the present surgical procedures and with regard to an individual advantage vs risk estimation, tactical algorithms of action must be *predefined* on the basis of the individual physiology/pathophysiology to keep reaction times for necessary interventions brief.

Keywords

Univentricular heart · Fontan circulation · Scoliosis · Pulmonary capillary blood flow · Elective surgery · Central venous pressure · Pulmonary artery pressure

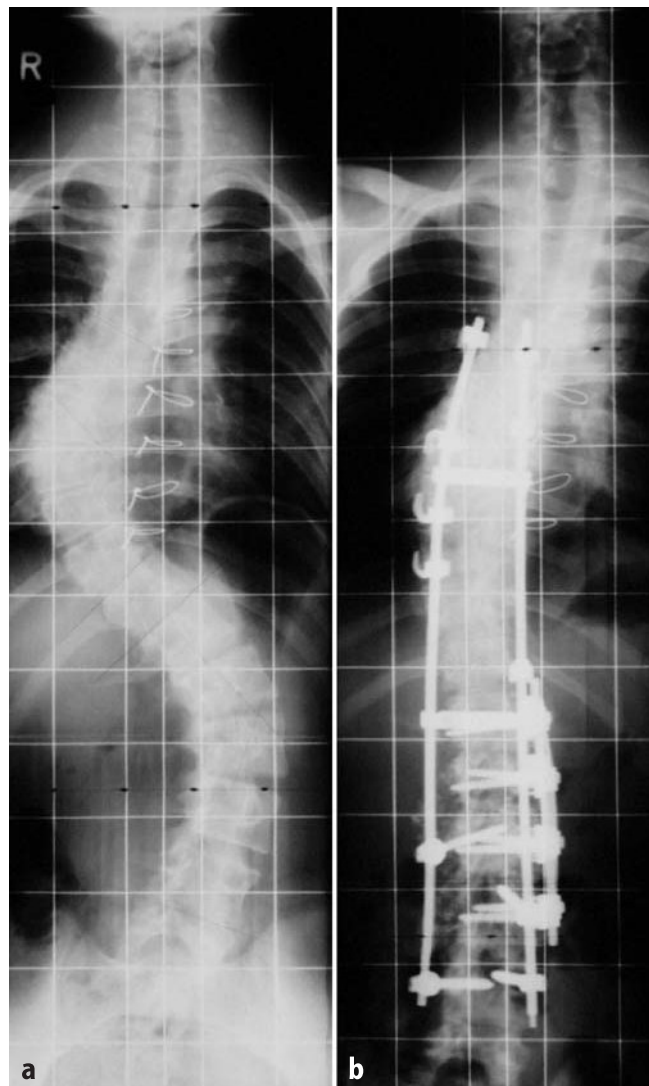


Abb. 1 ◀ Idiopathische thorakale und lumbale Skoliose (a) vor und (b) nach operativer Korrektur

min-Takt, pulmonalkapillärer Blutfluss (PCBF) im 15-min-Takt] elektronisch erfasst (DocVue, Philips, Böblingen). Intermittierend wurden arterielle und zentralvenöse Blutgasanalysen durchgeführt. Aus diesen Werten wurden zusammen mit den Respiratordaten abgeleitete Messgrößen wie intrapulmonale Shuntfraktion (Q_s/Q_t) bestimmt. Die explorative Datenanalyse erfolgte mit dem Programmpaket SPSS für MS Windows (Version 10.0.7, SPSS, Chicago, IL).

Fallbericht

Uns wurde ein 15-jähriger Junge mit Dextrokardie, univentrikulärem Herzen vom Linkstyp und singulärer AV-Klappe (Mitralklappe) vorgestellt (Abb. 2). Ursprünglich bestanden eine rechts vorne gelegene Auslasskammer mit hochgradiger Pulmonalstenose sowie ein großer

Vorhofseptumdefekt (common atrium) bei gleichzeitigem Ventrikelseptumdefekt (Abb. 3a). Mit 5 Jahren erhielt er einen Blalock-Taussig-Shunt (systempulmonale Anastomose zwischen A. subclavia und A. pulmonalis; Abb. 3b). Vier Jahre später wurde ein zentraler aortopulmonaler Shunt angelegt. Weitere 2 Jahre später, im Alter von 12 Jahren wurden die V. cava superior direkt mit der A. pulmonalis konnektiert (bidirektionaler Glenn) und gleichzeitig die bestehenden systempulmonalen Shunts unterbunden (Abb. 3c). Der Status des Jungen war zwar zu diesem Zeitpunkt subjektiv gebessert, jedoch bestanden weiterhin eine zentrale Zyanose mit pulsoxymetrischer Sauerstoffsättigung in Ruhe von 75–82% und deutliche Leistungseinschränkung. Daher wurde eine konservative Therapie der Skoliose favorisiert. Mit der Komplettierung der



Abb. 2 ▲ Thoraxröntgenaufnahme bei Dextrokardie und singulärem linken Ventrikel. Zustand nach totaler kavopulmonaler Konnektion

kavopulmonalen Konnektion im Alter von 14 Jahren durch zusätzlichen direkten Anschluss der V. cava inferior an die A. pulmonalis und proximaler Durchtrennung der Pulmonalarterie (Abb. 3d) wurde das rechte Herz dann funktionell aus der Blutzirkulation ausgeschaltet (Fontan-Zirkulation).

Anamnese

Bei der präoperativen Anästhesievisite sahen wir einen 15-jährigen jungen Mann in gutem Allgemeinzustand (54 kg, 1,70 m) mit fahlem Hautkolorit, der angab 2 Etagen problemlos Treppensteigen zu können. Lunge und Abdomen präsentierten sich klinisch unauffällig, die Leber war 1–1,5 cm unter dem Rippenbogen palpabel. Bei sonst reinen und rhythmischen Herzschlägen fand sich im 3. Interkostalraum rechts parasternal ein endsystolisches bis frühdiaistolisches Strömungsgeräusch. Die Herzfrequenz lag bei 74/min und der Blutdruck (nach RR) war 140/90 mmHg. Im EKG zeigten sich ein normofrequenter Sinusrhythmus (P negativ in I) bei Steiltyp, rechtsbetonte Potenziale der Brustwandableitungen und ein P biatriale. Echokardiographisch ergaben sich antegrade Flüsse im Fontan-System mit niedrigen Pulmonalisdrukken. Gleichzeitig waren eine Mitralsuffizienz 1. bis 2. Grades und eine Aorteninsuffizienz 1. Grades bei sonst guter linksventrikulärer Funktion auffällig. Die Blutgasanalyse ergab bei Normokapnie einen Sauerstoffpartialdruck von 10,3 kPa (77 mmHg), und eine Sauerstoffsättigung von 97%. Weitere präoperative Laborparameter:

Hb 9,7 mmol/l (15,6 g/dl), Hkt 0,46, Quick-Wert 81%, aPTT 33 s, Thrombozyten 255 Gpt/l, Na⁺ 139 mmol/l, K⁺ 3,7 mmol/l. Medikamentenanamnese: Digoxin 2 × 0,1 mg, Captopril 3 × 25 mg, Furosemid 2 × 20 mg, Acetylsalicylsäure (ASS) 1 × 100 mg. Abgesehen von ASS wurde die Medikation bis zur Operation fortgeführt. Der Patient erhielt präoperativ eine orale Prämedikation mit Midazolam 7,5 mg.

Anästhesiedurchführung

Die Anästhesie wurde nach Anlage einer invasiven Blutdruckmessung (A. radialis links) in Lokalanästhesie und nach Volumenbeladung mit 500 ml Vollelektrolytösung und 500 ml 6%iger HES 130/0,4 eingeleitet. Für die Induktion wurden 3 µg/kg KG Fentanyl, 0,3 mg/kg

KG Etomidat und 0,5 mg/kg KG Rocuronium verwendet. Narkoseeinleitung und Beginn der normokapnischen Überdruckbeatmung mit 100%igem Sauerstoff hatten keine messbaren hämodynamischen Auswirkungen (Abb. 4). Auf eine für die VDS sonst übliche seitengetrennte Ventilation wurde mit Rücksicht auf den pulmonalvaskulären Widerstand der nichtventilierten Lunge verzichtet. Nach Platzierung eines zentralen Venenkathethers (V. jugularis externa rechts) wurde die Anästhesie mit 3,5–7 mg/kg KG/h Propofol und intermittierenden Bolusgaben von Fentanyl aufrechterhalten. Die Ausgangswerte für ZVD lagen bei 12 mmHg und für den PCBF (DAVID, Medserv, Leipzig) bei 2,0 l/min.

Das operative Vorgehen der VDS bestand zunächst in einer Thorakophre-

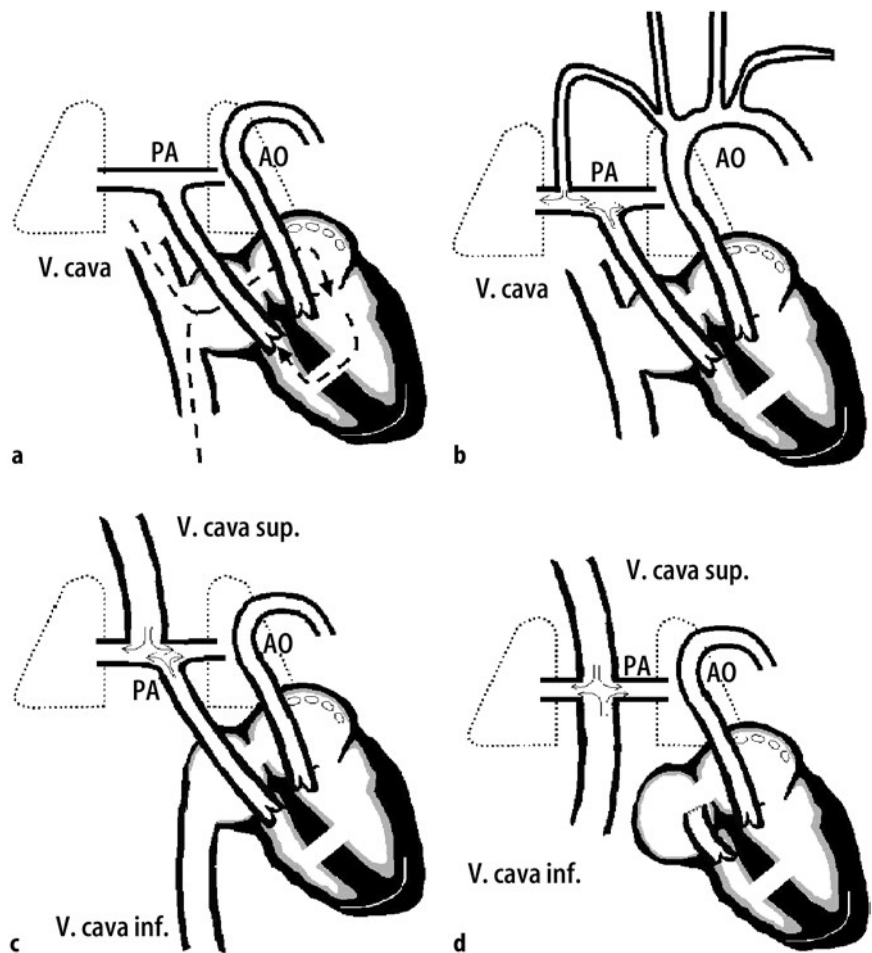


Abb. 3 ▲ Schematische Darstellung der kardialen Verhältnisse. a Kongenitaler Status mit Vorhof- und Ventrikelseptumdefekt. Der rechte Ventrikel existiert funktionell nur als „Auslasskammer“ des linken Ventrikels. b Blalock-Taussig-Anastomose, A. subclavia mit A. pulmonalis. c Bidirektionaler Glenn, Anschluss der V. cava superior an A. pulmonalis. d Fontan-Zirkulation, totale kavopulmonale Konnektion, Ligatur der A. pulmonalis

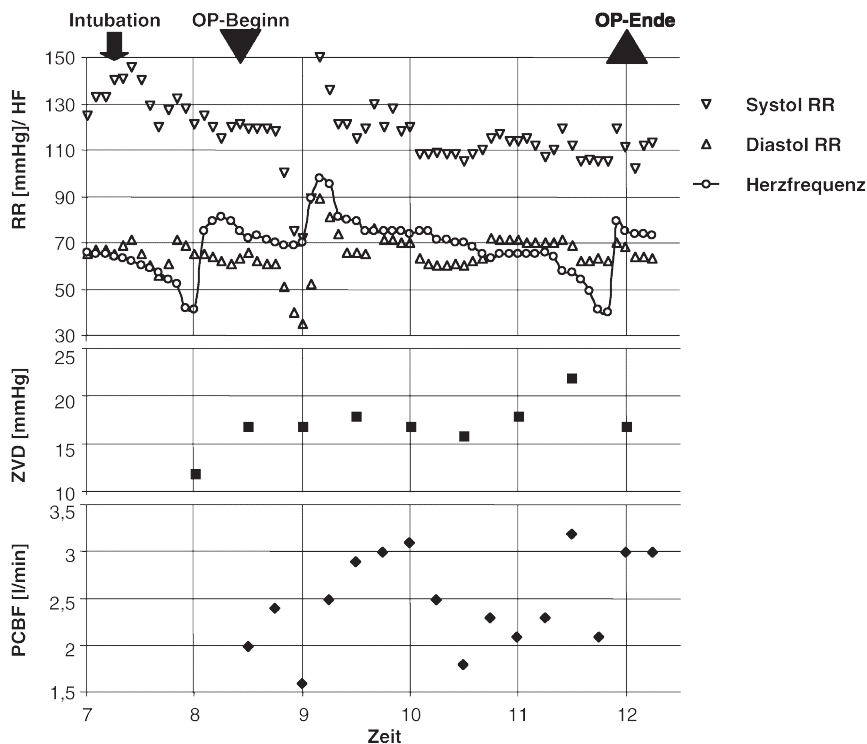


Abb. 4 ▲ Anästhesieprotokoll der Thorakotomie in Rechtsseitenlage zur VDS, Halm-Zielke-Verfahren): pulmonalkapillärer Blutfluss (PCBF), zentralvenöser Druck (ZVD), invasiv gemessener Blutdruck (RR)

notomie, mit Gefäßpräparation und Bandscheibenresektion. Anschließend erfolgte die Instrumentierung mit Kompression und Rotation (Halm-Zielke-Verfahren [7]).

Zweimalig intraoperativ aufgetretene Bradykardien (HF 40/min) wurden mit Atropin 0,5 mg behandelt. Im Rahmen der Thorakotomie trat ein Blutdruckabfall (70/35 mmHg, PCBF 1,6 l/min, ZVD 17 mmHg) auf, der mit 250 ml 7,2%igem NaCl/6%iger HES 200/0,5 (HyperHAES®) und der kontinuierlichen Infusion von 6 µg/kg KG/min Dobutamin behandelt wurde. Hierunter stabilisierte sich der Kreislauf innerhalb von 15 min soweit, dass die Dobutamingabe beendet werden konnte. Nach einer Operationsdauer von 214 min wurde der Patient mit einer Körpertemperatur von 34,8°C beatmet auf die Intensivstation verlegt; hier wurde er am ersten postoperativen Tag extubiert. Der intraoperative Blutverlust betrug insgesamt ca. 600 ml und die Urinausscheidung 600 ml. Die Infusionsmenge betrug 2,5 l Vollelektrolytlösung, 1 l HES (6%ig, 130/0,4) und 600 ml gefrorenes Frischplasma. Unter diesem Volumenregime wurde ein PCBF von im Mittel 2,5±0,5 l/min (Abb. 4) erreicht.

Der junge Mann konnte nach komplikationslosem Verlauf 3 Wochen später aus der stationären Behandlung entlassen werden.

Weitere 3 Wochen später wurde die dorsale Distractions- und Kompressionspondylodese mit autologer Spondylodese in Bauchlage vorgenommen (CD Horizon M8, Medtronic, Köln, Abb. 1b). Dieser Eingriff besteht zunächst aus einer autologen Spongiosaentnahme aus dem Beckenkamm. Anschließend erfolgt die Präparation von Brust- und Lendenwirbelsäule und eine Haken-Schrauben-Instrumentierung, die mit einer kombinierten Distraction, Kompression und Rotation der Wirbelsäule abgeschlossen wird.

Das Anästhesiemanagement für diesen Eingriff wurde analog der Voroperation durchgeführt. Um den Auswirkungen der Bauchlage auf den venösen Rückstrom gerecht zu werden, wurde neben dem arteriellen Druck auch der zentralvenöse Druck kontinuierlich gemessen. Auf die typische Knie-Ellebogen-Lagerung auf einem Spezialoperationstisch wurde verzichtet. Auch die zweite Anästhesie wurde volumenbetont durchgeführt, da ein ZVD von 20 mmHg klinisch die stabilsten kardiozirkulato-

rischen Verhältnisse erbrachte. Einmalig war auch, wie beim ersten Eingriff, ein 15-minütiger Einsatz von 6 µg/kg KG/min Dobutamin erforderlich. Nach einer Operationszeit von insgesamt 232 min lag die Körpertemperatur bei 35,3°C. Nach Aufwärmung konnte der Patient bei stabiler Hämodynamik bereits im Aufwachraum extubiert werden. Aufgetretenes Shivering, das sich auch durch einen Abfall der pulsoxymetrisch gemessenen Sauerstoffsättigung auf 88% bemerkbar machte, konnte durch die fraktionierte Gabe von 50 mg Pethidin behandelt werden.

Diskussion

Der im vorliegenden Fall bestehende Fontan-Kreislauf (Abb. 2, 3d) ist durch den passiven Blutrückstrom aus dem kompletten Systemkreislauf direkt in die Pulmonalarterien unter vollständiger Umgehung des rechten Herzens gekennzeichnet [5]. Damit gewinnen zentralvenöse Vorlast sowie pulmonalvaskulärer Widerstand wesentliche Bedeutung für das Herzzeitvolumen. Um ein hohes Maß an Patientensicherheit für die durchgeführten elektiven Eingriffe bieten zu können, wurde in der Vorbereitungsphase die enge Kooperation mit allen beteiligten Fachbereichen (Anästhesie, Kinderkardiologie, Kardiochirurgie, Orthopädie) gesucht, um Handlungsalgorithmen für diesen individuellen Fall zu entwickeln. Dabei wurden Absprachen bezüglich des operativen Vorgehens getroffen, bei dem zunächst einvernehmlich auf eine seitengetrennte Ventilation (SLV) verzichtet wurde. Eingriffe an der Wirbelsäule stellen nur eine relative Indikation für eine SLV dar [18]. Die anzunehmenden Auswirkungen einer mit SLV-assoziierten hypoxischen pulmonalen Vasokonstriktion (HPV) in der nichtventilierten Lunge [16] auf das Herzzeitvolumen standen im vorliegenden Fall in keinem Verhältnis zum operativen Nutzen dieses Vorgehens. Weiterhin wurde der operative Ablauf insbesondere beim zweiten Eingriff, der in Bauchlage stattfand so geplant, dass zu verschiedenen Zeiten während des Eingriffs bei hämodynamischer Instabilität ein zügiger geordneter Rückzug aus der Operation möglich gewesen wäre. Da insbesondere Vorhofflattern und -flimmern unter Fontan-Zirkulation gelegentlich auftreten [9, 10], hätte der Pati-

ent innerhalb kürzester Zeit auf einen vorgehaltenen 2. Operationstisch gedreht und entsprechend behandelt werden können. Um ggf. eine schnelle Umlagerung zu ermöglichen, wurde anstelle der Knie-Ellenbogen-Lagerung ein ventrales Lagerungskissen verwendet. Darüber hinaus wurde vereinbart, dass präoperativ zunächst die Hämodynamik in Bauchlage beurteilt wurde. Abhängig von der Auswirkung der Bauchlage wäre dann ggf. auf den Eingriff verzichtet worden. Zur Beurteilung der Neurologie distal des Eingriffsorts wird üblicherweise ein intraoperativer Aufwachversuch durchgeführt. Im vorliegenden Fall wurde von diesem Vorgehen abgesehen, um eine hierdurch ausgelöste vegetative Stressreaktion mit unter Umständen unkontrollierbaren hämodynamischen Folgen zu vermeiden.

Monitoring

Bei der in der Literatur beschriebenen eingeschränkten Belastungstoleranz nach Fontan-Operation, erhöhten ZVD (15 ± 4 mmHg) und reduzierten Herzzeitvolumina (HZV $2,3 \pm 0,6$ l/min/m²) [15] sowie im konkreten Fall der zusätzlich bestehenden leicht- bis mittelgradigen Aorten- und Mitralklappeninsuffizienz erschien ein erweitertes Monitoring bei den durchgeführten elektiven Eingriffen zwingend. Dazu wurde neben dem arteriellen Blutdruck und 5-poligem EKG mit 3-Kanal-ST-Analyse auch der ZVD kontinuierlich gemessen. Als weiterer wesentlicher Parameter wurde der pulmonalkapilläre Blutfluss (PCBF) non-invasiv mit der CO₂-Rückatmungsmethode [1, 6] bestimmt, der eine Abschätzung des HZV erlaubt. Andere Methoden zur HZV-Messung, wie transpulmonale Indikatorverfahren (COLD: „circulation, oxygenation, lung water, diagnosis“ bzw. PiCCO: „pulse contour cardiac output“) oder transösophageale Echokardiographie (TEE), kommen grundsätzlich ebenfalls in Frage. Während transpulmonale Farbstoffindikatorverfahren Vorteile bieten könnten, wurde ein TEE-Gerät zwar vorgehalten (SONOS 2000, Hewlett-Packard, Böblingen), kam jedoch intraoperativ nicht zum Einsatz. Grund hierfür waren taktische Erwägungen, für den Fall einer kritischen hämodynamischen Situation, die eine schnelle Umlagerung aus der Bauch- oder Seitenlage erzwungen hätte. In un-

seren Augen überwog die Verzögerung bzw. Behinderung einzuleitender Reanimationsmaßnahmen den zusätzlichen diagnostischen Wert der kontinuierlichen TEE.

Durch die Kombination aus kontinuierlicher ZVD- und PCBF-Messung konnte auf die Anlage eines Swan-Ganz-Katheters (PAK) verzichtet werden, der bei dem bestehenden Situs nicht sicher zentral und in West-III-Zone (Seitenlage) platzierbar gewesen wäre [17], und der per se den pulmonalen Vasotonus – und damit das HZV – hätte beeinflussen können. Daneben hätten die PAK-Daten auch nur mit Einschränkungen vor dem Hintergrund der bestehenden Klappeninsuffizienzen und der annehmbar eingeschränkten ventrikulären Compliance interpretiert werden können. Einschränkend für die HZV-Abschätzung durch die PCBF-Messung ist jedoch andererseits ein bestehender intrapulmonaler Shunt (im vorliegenden Fall bis zu 24%) zu berücksichtigen. Hierbei unterschätzt der PCBF-Wert das tatsächliche HZV [1]. Transpulmonale Indikatorverfahren zeigen in diesem Falle eine größere Präzision.

Pathophysiologie und Handlungsalgorithmen

Neben Erwägungen zur Operationstechnik und zur Art des Monitorings wurden Handlungsalgorithmen für eine Reihe möglicher Situationen definiert, entsprechende Absprachen getroffen und erforderliches Material vorgehalten. Dazu gehörte die Verwendung von Dobutamin oder Milrinon bei Abfall des HZV bei gleichzeitigem Verzicht auf Pharmaka, die den pulmonalen oder peripheren Widerstand erhöhen, wie Theodrenalin oder Noradrenalin. Bei Abfall der Sauerstoffsättigung wurde die inspiratorische Sauerstoffkonzentration angehoben, jedoch wurden Niveaus des positiven endexpiratorischen Beatmungsdrucks (PEEP) größer als 3 mbar vermieden [2]. Für den Fall einer pulmonalen Vasokonstriktion, die im konkreten Fall bei der Befundkonstellation eines Anstieges von ZVD=PAP bei gleichzeitigem Abfallen von PCBF und Blutdruck oder evtl. Anstieg des Beatmungsdrucks hätte abgeleitet werden können, wurde eine NO-Dosiereinheit zur inhalativen Applikation vorgehalten. Weitere pharmakologische Optionen

bestanden in einer Vertiefung der Anästhesie (ggf. auch Relaxierung) und der damit verbundenen Reduktion des Sauerstoffverbrauchs. Auf Seiten der Atemmechanik könnte neben der Limitierung von PEEP [2] eine Beatmung mit höheren Tidalvolumina bei niedrigeren Frequenzen Vorteile bieten [13, 17]. So fanden wir bei höheren Tidalvolumina und Phasen größerer dynamischer Compliance ebenfalls höhere PCBF-Werte.

Die Anästhesieeinleitung erfolgte für beide Eingriffe unter dem Schutz der Vormedikation mit Digitalis, Diuretikum und ACE-Hemmer, um von den positiv inotropen, antiarrhythmischen und nachlastsenkenden Effekten dieser Medikation auch intraoperativ zu profitieren. Zur Stressabschirmung wurde mit 7,5 mg Midazolam prämediziert. Der Beginn der Überdruckbeatmung ist mit der abrupten Umkehr der intrathorakalen Drücke verbunden [2, 16]. Hieraus resultieren ein erhöhter pulmonalvaskulärer Widerstand [16] und eine reduzierte venöse Vorlast [2]. Da das HZV unter Fontan-Zirkulation eng vom transpulmonalen Druckgradienten abhängt [3, 16] erschien der Übergang zur kontrollierten Beatmung besonders kritisch. Daher wurde vor der Anästhesieeinleitung jeweils eine Volumenbelastung des Kreislaufs mit 500 ml 6%iger HES 130/0,4 (Voluven®) und 500 ml Vollelektrolytlösung durchgeführt [2]. Zur Vermeidung von weiteren hypotensiven Effekten wurden für die Induktion 0,3 mg/kg KG Etomidat und 3 µg/kg KG Fentanyl gewählt. Beatmung und Bauchlage resultierten in einer pulmonalen Shuntfraktion (Q_s/Q_t) von 0,12–0,24. Nach Extubation reduzierte sich diese wieder auf 0,06. Die Anästhesie wurde dann mit 3,5–7 mg/kg KG/h Propofol und intermittierenden Bolusgaben von Fentanyl fortgeführt. Im Vergleich zu volatilen Anästhetika nimmt Propofol geringeren Einfluss auf die hypoxische pulmonale Vasokonstriktion [11]. Gleichzeitig reduziert es die pulmonale Shuntfraktion gegenüber Isofluran; hierbei ist jedoch eine Reduktion der ventrikulären Ejektionsfraktion beschrieben [12]. Um weitere vasokonstriktive Effekte in der Lungenstrombahn zu vermeiden, wurde auf die Verwendung von N₂O verzichtet [14]. Ferner wurden F₁O₂-Werte von 0,5 nicht unterschritten.

Diese Kasuistik zeigt, dass auch größere Elektiveingriffe nach endgültiger Versorgung eines komplexen Vitiums

durchgeführt werden können. Dabei stellt die Messung des pulmonalkapillären Blutflusses einen wertvollen nichtinvasiven Parameter für das hämodynamische Monitoring dar. Gerade unter dem Aspekt des Wahleingriffs ist jedoch eine individuelle Nutzen-Risiko-Abschätzung essentiell. Dazu gehört die Absprache mit allen beteiligten Fachbereichen v. a. aber auch dem Patienten und dessen Eltern. Hierbei muss eine klare Strategie (Operationstechnik, Anästhesietechnik, Monitoring) *vorab* definiert werden, die entsprechende Vereinbarungen mit den operativen Partnern einschließt. Wichtig ist ebenfalls die Erarbeitung von taktischen Handlungsalgorithmen auf der Basis der individuellen Physiologie/Pathophysiologie des Patienten. Nur so können Reaktionszeiten für notwendige Interventionen kurz gehalten werden.

Fazit für die Praxis

Unter dem Aspekt des Wahleingriffs ist eine individuelle Nutzen-Risiko-Abschätzung bei komplexen Herzvitien essentiell. Dazu gehört die Absprache mit allen beteiligten Fachbereichen und besonders auch dem pädiatrischen Patienten sowie dessen Eltern. Die gewonnenen Informationen müssen vorab auf der Basis der individuellen Physiologie/Pathophysiologie in eine Reihe taktischer Handlungsalgorithmen umgesetzt und mit dem operativen Partner kommuniziert werden. Die non-invasive Messung des PCBF kann neben transpulmonalen Indikatorverfahren unter bestimmten Bedingungen eine sinnvolle Alternative zum Swan-Ganz-Katheter sein.

Literatur

1. Abreu MG de, Quintel M, Ragaller M, Albrecht DM (1997) Partial carbon dioxide rebreathing: a reliable technique for noninvasive measurement of nonshunted pulmonary capillary blood flow. *Crit Care Med* 25:675–683
2. Ammar T, Reich DL, Kaplan JA (1998) Uncommon cardiac diseases. In: Benumof JL (ed) *Anesthesia and uncommon diseases*, 4. edn. Saunders, Philadelphia, pp 70–122
3. Braun U, Weyland A, Bartmus D, Ruschewski W, Rath W (1996) Anästhesiologische Aspekte der Schwangerschaft und Entbindung bei einer Patientin nach modifizierter Fontan-Operation. *Anaesthesist* 45:545–549
4. Canobbio MM, Mair DD, Velde M van der, Koos BJ (1996) Pregnancy outcomes after the Fontan repair. *J Am Coll Cardiol* 28:763–767
5. Fontan F, Baudet E (1971) Surgical repair of tricuspid atresia. *Thorax* 26:240–248
6. Gama de Abreu M, Geiger S, Winkler T, Ragaller M, Pfeiffer T, Leuthäuser D, Albrecht DM (2002) Evaluation of a new device for noninvasive measurement of nonshunted pulmonary blood flow in patients with acute lung injury. *Intensive Care Med* 28:318–323
7. Halm H, Liljenqvist U, Niemeier T, Chan DPK, Zielke K, Winkelmann W (1998) Halm-Zielke instrumentation for primary stable anterior scoliosis surgery. Operative technique and 2-year results in ten consecutive adolescent idiopathic scoliosis patients within a prospective clinical trial. *Eur Spine* 7:429–434
8. Hess J (2001) Long-term problems after cavopulmonary anastomosis: diagnosis and management. *Thorac Cardiovasc Surg* 49:98–100
9. Hickey PR (1998) Anesthesia for treatment of congenital heart disease. In: Longnecker DE, Tinker JH, Morgan GE (eds) *Principles and practice of anesthesiology*, 2nd edn. Mosby, St Louis, pp 1699–1735
10. Hoare JV, Radford D (2001) Pregnancy after repair of complex congenital heart disease. *Aust NZ Obstet Gynecol* 41:464–468
11. Karzai W, Haberstroh J, Priebe HJ (1998) Effects of desflurane and propofol on arterial oxygenation during one-lung ventilation in the pig. *Acta Anaesthesiol Scand* 42:648–652
12. Kellow NH, Scott AD, White SA, Feneck RO (1995) Comparison of the effects of propofol and isoflurane anaesthesia on right ventricular function and shunt fraction during thoracic surgery. *Br J Anaesth* 75:578–582
13. Kern FH, Greeley WJ, Schulman SR, Cheifetz IM, Meliones JN (2001) *Pediatric intensive care*. In: Estafanous FG, Barash P, Reves JG (eds) *Cardiac anesthesia*, 2nd edn. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 505–537
14. Schulte-Sasse U, Hess W, Tarnow J (1982) Pulmonary vascular responses to nitrous oxide in patients with normal and high pulmonary vascular resistance. *Anesthesiology* 57:9–13
15. Shachar GB, Fuhrman BP, Wang Y, Lucas RV, Lock JE (1982) Rest and exercise hemodynamics after Fontan procedure. *Circulation* 65:1043–1048
16. Weiss SJ, Aukburg SJ (1998) Thoracic anesthesia. In: Longnecker DE, Tinker JH, Morgan GE (eds) *Principles and practice of anesthesiology*, 2nd edn. Mosby, St Louis, pp 1736–1840
17. West JB, Dollery R, Naimark A (1964) Distribution of blood flow in isolated lung: relation to vascular and alveolar pressures. *J Appl Physiol* 19:713–724
18. Yao F (1998) Bronchoscopy and thoracotomy. In: Yao F, Artusio JF (eds) *Anesthesiology: problem oriented patient management*, 4th edn. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia, pp 30–52