

Anwendung einer miniaturisier- ten Herz-Lungen-Maschine bei koronarchirurgischen Eingriffen am schlagenden Herzen

ZUSAMMENFASSUNG

Erfahrungen mit einer miniaturisierten Extrakorporalen Zirkulation (EKZ) in der Koronarchirurgie am schlagenden Herzen sind begrenzt. Wir haben ein klinikspezifisches Perfusionssystem zur Kreislaufunterstützung bei koronarchirurgischen Eingriffen entwickelt. Das operative Vorgehen kombiniert dabei die Vorzüge der Bypassanlage am schlagenden Herzen mit der hämodynamischen Stabilität durch ein Unterstützungssystem. Hieraus resultieren nicht nur eine erleichterte und optimierte Positionierung des Herzens für den Operateur, sondern auch stabile Perfusionsverhältnisse während der gesamten Operation.

Nach unseren Erfahrungen stellt die Koronarbypasschirurgie am schlagenden Herzen mit Unterstützung einer miniaturisierten HLM eine sichere Operationsmethode dar.

SCHLÜSSELWÖRTER

Koronarbypasschirurgie, miniaturisiertes EKZ-System, Operation am schlagenden Herzen

ABSTRACT

There is limited experience with miniaturized cardiopulmonary bypass systems in beating-heart myocardial revascularisation. We have refined a relative new perfusion system for hemodynamic support during non-cardioplegic coronary artery bypass grafting. This strategy enables the surgeon to position the heart in an optimal manner and assures a stable hemodynamic condition during the whole procedure. Our preliminary experience showed beating heart CABG supported by a miniaturized cardiopulmonary bypass to be a safe operative procedure.

KEY WORDS

Coronary artery bypass grafting, miniaturized CPB system, beating-heart surgery

EINFÜHRUNG

Die Anwendung neuer Operationstechniken mit dem Ziel der Reduzierung des Ope-

rationstraumas bei herzchirurgischen Eingriffen ist ein allgemein festzustellender Trend der letzten Jahre. Neben der Bypasschirurgie ohne Verwendung der Herz-Lungen-Maschine (HLM) gewinnen minimal-

invasive Klappeneingriffe zunehmend an Bedeutung. Nachdem die Entwicklung der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) seit den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts die Verbreitung der Herzchirurgie überhaupt erst

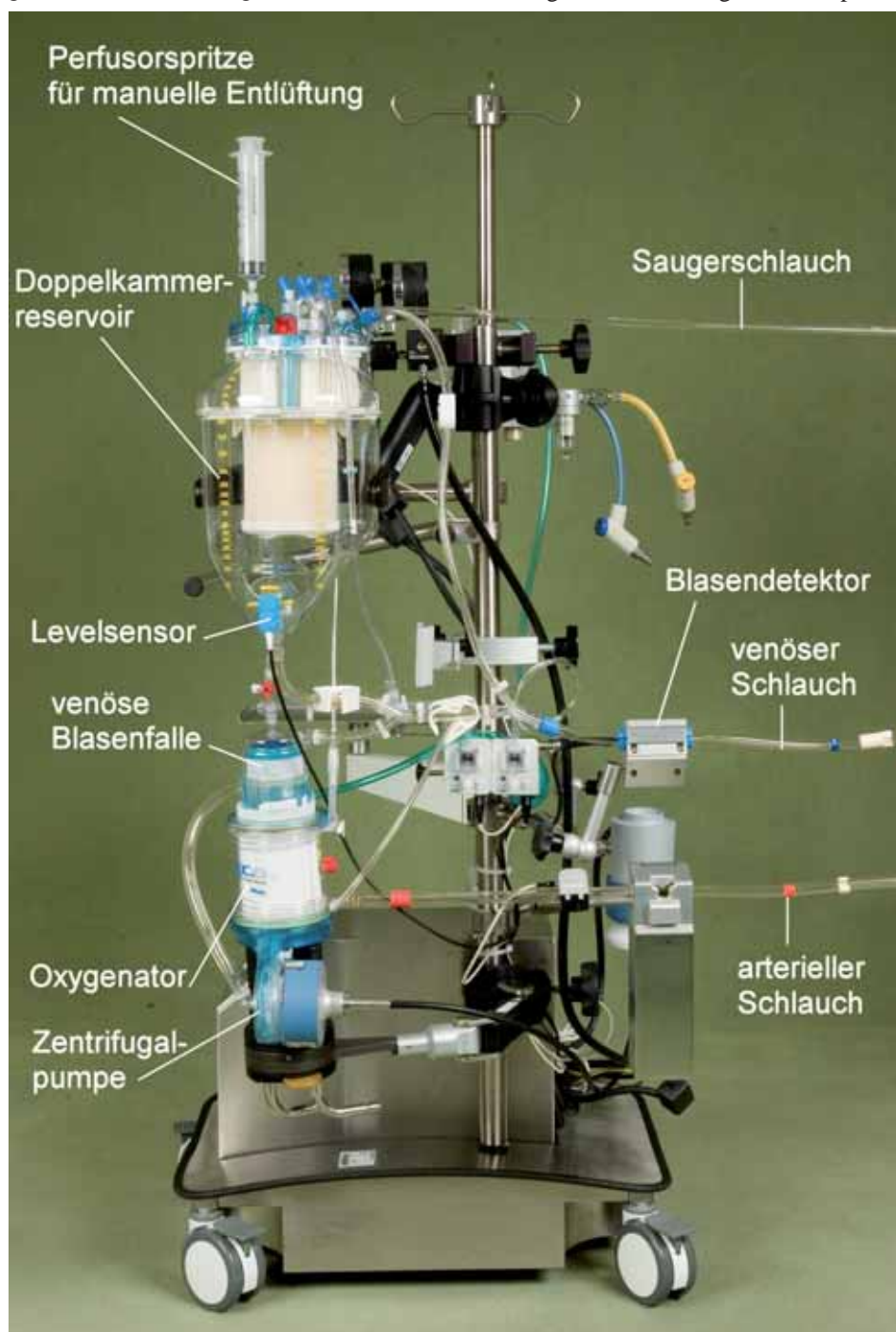


Abb. 1: Miniertes EKZ-System auf Basis der SCP-Zentrifugalpumpe

ermöglichte, findet nun eine Abkehr von diesem Verfahren statt [1]. Unter Hinweis auf mögliche unerwünschte postoperative Nebenwirkungen wie zerebrale, pulmonale und renale Dysfunktionen wird versucht, den Einsatz der Herz-Lungen-Maschine zu vermeiden [2]. In den Hintergrund wird dabei gedrängt, dass sich auch alle Bereiche der EKZ kontinuierlich weiterentwickelt haben und heute mit Hilfe qualitativ zuverlässiger Geräte ein sehr hoher Sicherheitsstandard erreicht wurde. Zudem konnte die Biokompatibilität der verwendeten Komponenten deutlich gesteigert werden. Die „Standard-Herz-Lungen-Maschine“,

die für alle Patienten gleichermaßen geeignet ist, verliert ihre Daseinsberechtigung. Immer älter werdende Patienten mit multiplen Komorbiditäten erfordern neben einem innovativen Operationsregime auch den Einsatz modifizierter EKZ-Systeme. Die Patienten der Zukunft benötigen individuell zusammengestellte Konfigurationen der Herz-Lungen-Maschinen. In den vergangenen Jahren wurden in verschiedenen Kliniken miniaturisierte EKZ-Systeme mit der Zielsetzung der Reduzierung unerwünschter Nebenwirkungen erprobt [3–6]. In unserer Klinik entwickelten wir ein System zur Kreislaufunterstützung bei bypass-

chirurgischen Operationen am schlagenden Herzen, das nachfolgend bezüglich des Aufbaus und Perfusionsmanagements vorgestellt wird.

SYSTEMAUFBAU UND PERFUSIONS-MANAGEMENT

Unsere Konfiguration basiert auf der Zentrifugalpumpenkonzole SCPC (Stöckert, Sorin Group) (Abb. 1) und dem ECC.O-Perfusionssystem (Dideco, Sorin Gruppe). Das ECC.O-System besteht aus:

- einem Oxygenator mit Polypropylenmembran und einer Fremdoberfläche von 1,1 m²
- einem integrierten Wärmetauscher mit einer Fremdoberfläche von 0,14 m²
- einer Zentrifugalpumpe Revolution® (Cobe Cardiovascular, Sorin Group)
- einer venösen Blasenfalle mit einem 120-µm-Polyesternetzfilter und 0,01 m² Fremdoberfläche

Das Primingvolumen der Oxygenations- und Pumpeneinheit beträgt 380 ml. Hinzu kommen noch die Schlauchverbindungen zum Patienten, so dass sich rechnerisch ein Gesamtpriming von 620 ml ergibt. Dieses kann effektiv auf 0 ml reduziert werden, wenn nach der Kanülierung der Aorta ein retrogrades, autologes Priming in Abhängigkeit vom Volumenstatus und der Hämodynamik des Patienten durchgeführt wird. Der nach Herstellerangaben maximale Blutfluss beträgt 5 l/min. Die SCPC-Konzole besitzt ein berührungsempfindliches Bedienungsdisplay, eine integrierte unterbrechungsfreie Stromversorgung für bis zu 90 Minuten netzunabhängigen Betrieb, einen Ultraschallblasendetektor, eine elektrische arterielle Klemme, einen Niveausensor, zwei Druckmessmodule sowie zwei Timer.

Wir erweiterten das ECC.O-System um ein Kardiotomiereservoir Dual Avant D980 (Dideco, Sorin Gruppe, Mirandola, Italien). Die Integration des Reservoirs erlaubt eine schnelle und sichere Entlüftung des Systems. Ein wesentliches Merkmal dieses Reservoirs ist die Möglichkeit der Saugblutseparation. Über einen Vakuumregler wird in der oberen Kammer ein Sog von 40 mmHg erzeugt. Wird nun an das Reservoir ein Saugerschlauch angeschlossen, kann das Kardiotomieblut aus dem Operationsfeld ohne Notwendigkeit einer zusätzlichen Pumpe abgesaugt werden. Dieses Blut wird dem Patienten im Normalfall nicht zurück transfundiert. Erst ab einem gesammelten Volumen von über 800 ml findet nach Aufbereitung des Blutes in einem Cell-Saver die Retransfusion statt.

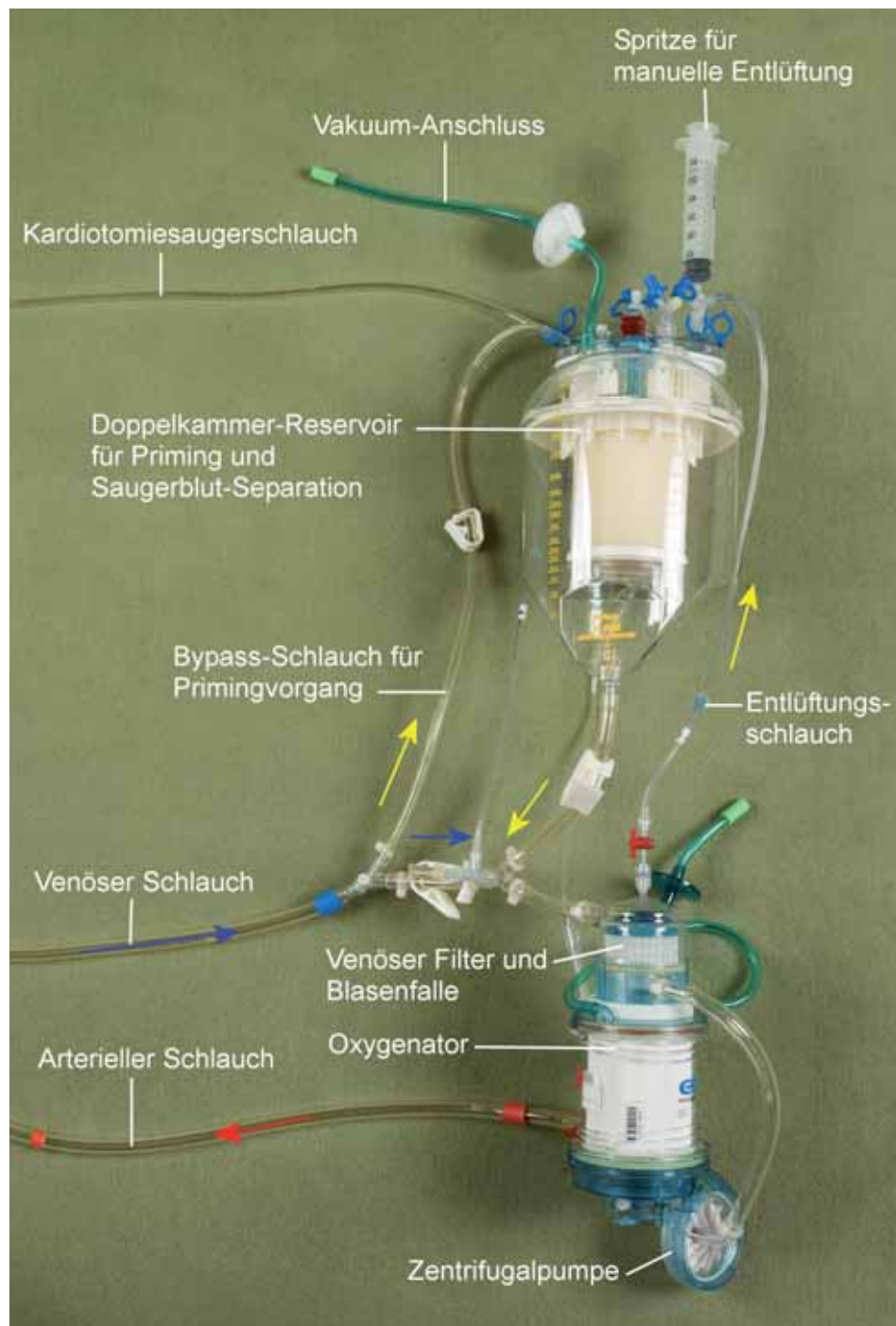


Abb. 2: Komplettes Perfusionssystem mit ECC.O-Pumpen-/Oxygenationseinheit und integriertem Reservoir

Dieser Fall trat bei unserer Patientengruppe kein einziges Mal ein.

Der Levelsensor wurde an der unteren Kammer des Reservoirs angebracht. Wir gehen davon aus, dass Gasblasen ausschließlich über die venöse Linie in das System gelangen können. Deshalb wurde der Blasendetektor der SCPC an der venösen Linie platziert. Wir haben eine Verbindung zwischen der oberen Kammer des Reservoirs und dem Entlüftungsanschluss der venösen Blasenfalle des Oxygenators geschaffen (Abb. 2). Beim Auslösen des Luftalarms durch den Blasendetektor wird die arterielle Linie durch die elektrische Klemme sofort geschlossen und ein akustischer Alarm ausgelöst. Der Kardiotechniker muss die Validität des Alarms überprüfen und die Ursache beseitigen. Etwaige Luft, die in die venöse Blasenfalle des Oxygenationssystems eingetreten ist, wird über eine angeschlossene Perfusor-spritze manuell abgesaugt. Über eine automatische Entlüftungsvorrichtung verfügt das System nicht. Anschließend muss noch die automatische arterielle Klemme durch bewusste Intervention des Kardiotechnikers wieder geöffnet werden, um die Perfusion fortzusetzen.

Das Perfusionssystem ist mit einer biokompatiblen Oberfläche aus Phosphorylcholin beschichtet (Phisio, Sorin), ausgenommen hiervon sind die arterielle und venöse Kanüle.

Die Heparindosierung beträgt 150 IE/kg Körpergewicht und die minimal tolerierte ACT liegt bei 250 s. Bei Unterschreitung dieses Wertes wird Heparin nachdosiert.

Das hier vorgestellte System wird ausschließlich zur intraoperativen Stabilisierung der Hämodynamik bei Bypassoperationen am schlagenden Herzen verwendet. Es stellt damit eine Erweiterung zur etablierten OPCAB-Chirurgie (Off-Pump Coronary Artery Bypass) dar, bei der auf den Einsatz der Herz-Lungen-Maschine vollständig verzichtet wird. Insbesondere bei Patienten mit reduzierter linksventrikulärer Ejektionsfraktion kann die Luxation des Herzens bei der Anlage von Anastomosen im Hinterwandbereich zu einem therapiebedürftigen Absinken des arteriellen Blutdrucks und Herzminutenvolumens führen. Derartige Situationen lassen sich mit dem miniaturisierten Perfusionssystem sicher vermeiden. Zudem kann der Operateur ohne Rücksicht auf die Hämodynamik das Herz optimal positionieren und muss keinen Kompromiss eingehen zwischen ausreichender Kreislaufsituation und bestmöglicher Darstellung des Situs

für die Anastomosenanlage. Der Blutfluss der EKZ wird flexibel – nach Patientenbedarf – geregelt. Während der gesamten Operation schlägt das Herz weiter und dem Patienten wird kein Volumen entnommen (normovoläme Perfusion). Probleme mit dem venösen Rückfluss, auch bei starker Herzluxation, treten daher sehr selten auf. Das dem Körper zur Verfügung stehende Blutminutenvolumen ist die Summe aus dem Herzminutenvolumen des Patienten und dem extrakorporalen Blutfluss. Nach Anfahren der HLM versucht der Kardiotechniker zunächst, den vollen berechneten Blutfluss (Grundlage ist ein Perfusionsindex von $2,4 \text{ l/min/m}^2$) zu erreichen. Hierdurch wird die Lage der venösen Kanüle geprüft und sichergestellt, dass im Bedarfsfall auch der maximale errechnete Blutfluss gepumpt werden kann. Daran anschließend wird der Blutfluss auf einen Grundfluss von $2,5 \text{ l/min}$ reduziert. Ab diesem Zeitpunkt wird der extrakorporale Fluss nach dem mittleren arteriellen Druck geregelt. Bis zu einem Druck von 60 mmHg wird der Grundfluss beibehalten, bei einem Druckabfall unter 60 mmHg wird der EKZ-Fluss gesteigert bis zum maximalen Systemblutfluss von 5 l/min . Sollte sich der Blutdruck trotzdem nicht stabilisieren lassen, wird erst jetzt mit einer Vasopressorentherapie begonnen, um den arteriellen Blutdruck auf über 60 mmHg anzuheben. Wenn der arterielle Blutdruck wieder auf über 60 mmHg angestiegen ist und die Vasopressoren reduziert werden können, wird der Blutfluss des extrakorporalen Kreislaufs wieder sukzessive angepasst. Dieses Management verlangt nach einer guten Kommunikation zwischen Kardiotechnik und Anästhesie. Jegliche Volumenverluste (z. B. Diurese, Kardiotomieblut) werden bei Bedarf mit kolloidaler Lösung ausgeglichen. Nach 10 Minuten Perfusion wird eine BGA aus dem extrakorporalen Kreislauf entnommen, weitere Blutproben werden dann dem Patienten durch den Anästhesisten in halbstündlichen Abständen entnommen. Durch die Beschränkung des maximalen Blutflusses des ECC.O-Systems auf 5 l/min ergibt sich auch die Auswahl der Patienten für dieses Verfahren. Nur Patienten mit einer maximalen Körperoberfläche von $2,1 \text{ m}^2$ werden von uns für dieses System akzeptiert, damit im Bedarfsfall ein Flussindex von $2,4 \text{ l/min/m}^2$ erreicht werden kann.

Alle Perfusionen werden in Normothermie durchgeführt, wobei die gewünschte Körperkerntemperatur $37 \text{ }^\circ\text{C}$ bei Perfusionsende beträgt. In einer Notfallsituation ist es möglich, mit diesem System eine

Blutkardioplegie nach Calafiore sowie eine aktive linksventrikuläre Entlastung (Venten) durchzuführen.

Die Aorta ascendens wird standardmäßig mit einem 24-Fr.-Soft-Flow-Katheter (Terumo) kanüliert, für die venöse Kanülierung des rechten Vorhofs verwenden wir einen Zwei-Stufen-SLIM-Katheter 28/32 Fr. (Maquet Cardiopulmonary). Es wird keine Kardioplegie verwendet und die Aorta wird nicht geklemmt. Die Lungenventilation wird über die gesamte Operation aufrechterhalten. Zur Stabilisierung der Koronararterien wird das System OPVAC[®] Synergy[™] (Estech, San Ramon, CA, USA) eingesetzt. Intraluminale Koronarshunts werden regelhaft verwendet, um ein blutarmes Operationsfeld zu erreichen und regionale Ischämien zu vermeiden. Im Falle einer Bradykardie wird immer ein temporärer Schrittmacher zur Vorhofstimulation eingesetzt. Die proximalen Anastomosen werden unter tangentieller Aortenklemmung genäht. Gemäß des Prinzips der funktionellen Revaskularisation wird zuerst die Vorderwand durch Anlage der linken A. mammaria zur LAD versorgt. Anschließend wird die rechte Koronararterie revaskularisiert und schließlich die Marginaläste.

DISKUSSION

Es wird die Aufgabe des Kardiotechnikers sein, aus der Vielzahl der kommerziell erhältlichen EKZ-Komponentenpatientenadaptierte Perfusionssysteme zu entwickeln. Die Komplikationen infolge des Einsatzes der Herz-Lungen-Maschine sind gut bekannt [2, 7]. Der extrakorporalen Zirkulation wird unter anderem die Initiierung einer systemischen, inflammatorischen Abwehrreaktion des Körpers durch Komplementaktivierung und Blutkontakt mit Fremdoberflächen [8] zugeschrieben. Obwohl in den vergangenen Jahren die herzchirurgischen Patienten immer älter und zunehmend multimorbider wurden, sind die Ergebnisse dank der signifikanten Verbesserung der chirurgischen, anästhesiologischen und kardiotechnischen Verfahren nicht schlechter geworden. Trotzdem hält die Suche nach weniger invasiven Verfahren an, insbesondere da sich die Ergebnisse der Operationen mit den kardiologischen Interventionen messen lassen müssen. Die miniaturisierte extrakorporale Zirkulation ist eine der Entwicklungen der letzten Jahre, die das Potenzial hat, die Morbidität der Koronarbypasschirurgie im Vergleich zur konventionellen EKZ zu reduzieren. Die Studienlage bezüglich der Auswirkungen

miniaturisierter EKZ-Systeme ist jedoch unzureichend. Zu groß sind die Unterschiede zwischen den Kliniken bezüglich der Operations- und Perfusionsregime. So finden sich Berichte über die Anwendung der neuen Systeme in Kombination mit Aortenabklemmung und kardioplegischem Herzstillstand. Der Vergleich mit einem Verfahren, bei dem genau auf diese Faktoren verzichtet wird, ist dann schwierig. Eine Studie, die Koronarbybasschirurgie mit konventioneller und miniaturisierter extrakorporaler Zirkulation verglich, zeigte eine niedrigere globale Organschädigung und die Erhaltung der alveolären Funktion in der Gruppe der Patienten mit miniaturisierter EKZ [9]. Hier zeigte sich auch eine Reduktion im Fremdblutverbrauch in der Gruppe mit minimierter EKZ. Eine andere Studie über die Anwendung der miniaturisierten EKZ [10] zeigte eine niedrigere Rate perioperativer Myokardinfarkte (1 von 30 Patienten) und einen kürzeren Aufent-



Abb. 3: Anordnung des Systems im OP

Vorteile	
Reduziertes Primingvolumen	weniger Hämodilution, reduzierter Transfusionsbedarf
Reduzierte Fremdoberfläche	reduzierte systemische Inflammation
Biokompatible Oberfläche	
Saugerblutseparation	
Vollständig geschlossenes System ohne Blut-Luft-Kontakt	
Stabilisierung der Hämodynamik	durch flexible Anpassung des art. Blutflusses in jeder Phase stabile Hämodynamik
Isovolumäre Perfusion	gleichbleibender Volumenstatus im Patienten führt zu stabileren Blutdruckverhältnissen mit reduziertem Bedarf an Vasopressoren
Keine Aortenabklemmung	reduziertes Risiko zerebraler Embolisation durch Manipulation an der Aorta
Keine Kardioplegie	Vermeidung kardialer Ischämie, vorteilhaft insbesondere bei vorgeschädigtem Ventrikel
Reduzierte Heparinisierung	reduzierte Nachblutung
Pulmonale Protektion	lungenprotektive Beatmung während der EKZ-Phase, Vermeidung von Atelektasen
Stabile zerebrale Perfusion	keine Änderung der zerebralen Perfusionsverhältnisse bei Luxation des Herzens
Erhaltung der Normothermie	keine Auskühlung des Patienten während der Operation wie bei OPCAB-Chirurgie
Nachteile	
Luftemboliemanagement	eintretende Luft in das System ist schwieriger zu beseitigen als bei konventioneller HLM
Eingeschränkte Flexibilität bei intraoperativen Änderungen des OP-Vorgehens	das System kann nicht während des Betriebes zu einer konventionellen HLM umgebaut werden
Aortenkanülierung	mögliche zerebrale Embolisation während des Kanülierungsvorganges

Tab. 1: Vor- und Nachteile der Kreislaufunterstützung mit miniaturisierter EKZ bei Bypassoperationen am schlagenden Herzen

halt auf der Intensivstation. Andere Studien berichteten über eine erniedrigte Freisetzung des Proteins S 100B in der Gruppe der miniaturisierten HLM, was als Ausdruck einer reduzierten neurologischen Schädigung betrachtet werden kann [11, 12]. Obwohl die Verwendung miniaturisierter EKZ-Systeme vorteilhaft für die Patienten zu sein scheint, gibt es Bedenken bezüglich der Sicherheit bei der Anwendung. An erster Stelle ist hier der Lufteintritt in das System zu nennen, mit der möglichen Konsequenz einer Luftembolie. Unbestritten handelt es sich hierbei um eine gefürchtete Komplikation. Andere Gruppen haben über diese Erfahrungen berichtet. Eine Studie beschrieb den Lufteintritt in das geschlossene System bei 2 von 15 Patienten, was zur Aufgabe der Verwendung des miniaturisierten Systems führte [13]. In einer anderen Studie wird über den Lufteintritt in das EKZ-System bei 3 Patienten berichtet, allerdings ohne jegliche Schäden für die Patienten [14]. Auf der anderen Seite gab es auch Autoren, die keine derartigen Komplikationen berichteten [10]. In unserer eigenen Anwendungsgruppe haben wir keine Fälle von Luftembolien beobachten können. Wir vertreten die Auffassung, dass die venöse Kanülierungsstelle die Hauptquelle eines möglichen Lufteintritts in das EKZ-System darstellt. Deswegen wird die venöse Kanüle immer mit einer doppelten Tabaksbeutelnaht gesichert. Der Unterdruck in der venösen Linie wird überwacht und beim Unterschreiten von -70 mmHg wird ein akustischer Alarm ausgelöst. Der zur

Geräte-Hardware gehörende Blasendetektor wird immer an der venösen Linie platziert. Bei einer Blasendetektion schließt die elektronische arterielle Klemme sofort. Die Kombination dieser Maßnahmen gestattet einen sicheren Betrieb im Routineeinsatz. In Tabelle 1 sind die Vor- und Nachteile unseres Verfahrens aufgeführt. Es gilt nun, im nächsten Schritt die erwarteten Effekte zu bestätigen oder zu widerlegen. Eine prospektive, randomisierte Studie steht kurz vor dem Abschluss. Die Ergebnisse werden in einer der folgenden Ausgaben dieser Zeitschrift präsentiert.

Die OPCAB-Chirurgie hat in unserer Klinik einen festen Stellenwert. Wir gehen jedoch davon aus, dass der Einsatz miniaturisierter EKZ-Systeme eine komplette Revascularisierung vereinfacht, vor allem bei Patienten mit reduzierter linksventrikulärer Funktion. Das Gesamtbehandlungskonzept der koronaren Herzerkrankung konnte somit sinnvoll um eine Option erweitert werden (Abb. 3).

LITERATUR

[1] Gibbon JH jr: *Application of a mechanical heart and lung apparatus to cardiac surgery. In: Recent advances in cardiovascular surgery. Minneapolis, MN University of Minnesota 1953; 107–113*

[2] Butler J, Rucker GM, Westaby S: *Inflammatory response to cardiopulmonary bypass. Ann Thorac Surg 1993; 55: 552–559*

[3] Ohata T, Mitsuno M, Yamamura M et al: *Minimal cardiopulmonary bypass attenuates neutrophil activation and cytokine release in coronary artery bypass grafting. Artif Organs 2007; 10: 92–95*

[4] Perthel M, Kligbeil A, El-Avoubi L, Gerick M, Laas J: *Reduction in blood product usage associated with routine use of mini bypass systems in extracorporeal circulation. Perfusion 2007; 22: 9–14*

[5] Gerritsen WB, van Boven WJ, Wesselink RM: *Significant reduction in blood loss in patients undergoing minimal extracorporeal circulation. Transfus Med. 2007; 16: 329–334*

[6] Wiesenack C, Liebold A, Philipp A et al: *Four years' experience with a miniaturized extracorporeal circulation system and its influence on clinical outcome. Artif Organs 2004; 28: 1082–1088*

[7] Kirklin JK, Westaby S, Blackstone EH et al: *Complement and the damaging effects of cardiopulmonary bypass: associated hemostatic abnormalities. J Thorac Cardiovasc Surg 1997; 427–435*

[8] Ascione R, Llyod CT, Underwood MJ, Lotto AA, Pitsis AA, Angelini GD: *Inflammatory response after coronary revascularization with or without cardiopulmonary bypass. Ann Thorac Surg 2000; 69: 1198–1204*

[9] Van Boven WJ, Gerritsen WB, Waanders FG, Haas FJ, Aarts LP: *Mini extracorporeal circuit for coronary artery bypass grafting: initial clinical and biochemical results. Perfusion 2004; 19: 239–246*

[10] Beghi C, Nicolini F, Agostinelli A et al: *Mini-cardiopulmonary bypass system: Results*

of a prospective randomized study. Ann Thorac Surg 2006; 81: 1396–1400

[11] Fromes Y, Gaillard D, Ponzio O et al: *Reduction of the inflammatory response following coronary bypass grafting with total minimal extracorporeal circulation. Eur J Cardiothorac Surg 2000; 22: 527*

[12] Remadi JP, Marticho P, Butoi I et al: *Clinical experience with the Mini-extracorporeal circulation system: An evolution or a revolution? Ann Thorac Surg 2004; 77: 2172–2176*

[13] Nollert G, Schwabenland I, Maktav D et al: *Miniaturized Cardiopulmonary bypass in coronary artery bypass surgery: Marginal impact on inflammatory and coagulation but loss of safety margins. Ann Thorac Surg 2005; 80: 2326–2332*

[14] Remadi JP, Rakotoarivelo Z, Marticho P, Benamar A: *Prospective randomized study comparing coronary artery bypass grafting with the new mini-extracorporeal circulation Jostra system or with a standard cardiopulmonary bypass. Am Heart J 2006; 198.e1–198.e7*

Dr. med. Delawer Reber
Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie
Berufsgenossenschaftliches Universitäts-
klinikum Bergmannsheil GmbH
Bürkle-de-la-Camp-Platz 1
44789 Bochum
E-Mail: delawer.reber@rub.de