

Optimierung der venösen Drainage im minimierten extrakorporalen Zirkulationssystem (MECC) am Herzzentrum Coswig

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfolge der Herzchirurgie in den zurückliegenden Jahrzehnten stehen in engem Zusammenhang mit der Erfindung und der stetigen Weiterentwicklung der Herz-Lungen-Maschine (HLM) und ihrer Komponenten. Gerade die jüngste Zeit hat gezeigt, dass auch in der modernen Herzchirurgie nicht auf den Einsatz der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) verzichtet werden kann. [1, 2] Vorteile für das Outcome und einen besseren postoperativen Verlauf von Patienten mit Herzoperationen und minimierten extrakorporalen Zirkulationssystemen sind nachgewiesen und in zahlreichen internationalen Studien belegt. [3–16] Verglichen mit konventionellen extrakorporalen Zirkulationssystemen (CCPB) liegt bei minimierten Systemen der wesentliche Unterschied – neben der Saugerblutseparation und der Drainage des „Vent-Blutes“ in die venöse Linie – vor allem im Fehlen des venösen Reservoirs und der damit bedingten aktiven venösen Drainage, ähnlich einer veno-arteriellen ECMO (extra corporeal membrane oxygenation). Für die aktive venöse Drainage in geschlossenen extrakorporalen Zirkulationssystemen ist ein kontinuierlicher Zufluss von Blut zur venösen Kanüle erforderlich, um ein Ansaugen der Kanüle im rechten Atrium zu vermeiden. [17] Durch das Ansaugen der venösen Kanüle kann ein erhöhtes Auftreten von Mikroblasen entstehen und je nach Dauer des Ereignisses zusätzlich eine Minderperfusion des Patienten [22].

Um dieses Phänomen zu reduzieren oder möglichst zu vermeiden, wurden am Herzzentrum Coswig eine Reihe von Modifikationen am minimierten extrakorporalen Zirkulationssystem (MECC) und der Art der Perfusionsführung während MECC vorgenommen. Um der Problematik des Lufteintritts entgegenzuwirken, wurde zudem der venösen Linie des MECC-Systems ein Entlüftungsdevice, VBT (Venous Bubble Trap), hinzugefügt (Maquet Cardiopulmonary AG, Hirrlingen). Durch

den kombinierten Einsatz einer im Querschnitt reduzierten venösen Dreistufenkanüle (Venous Triple-Stage Catheter SLIM 28/32 French; MAQUET) und einer unterdruckregulierten arteriellen Zentrifugalpumpe konnte die venöse Drainage weiter optimiert werden. Ursprünglich verwendet wurde die Two-Stage Cannula 36-46 French (Medos AG, Stolberg). In der vorliegenden Arbeit kann eine signifikante Abnahme der Ansaugphänomene und der damit bedingten Flussabfälle während der Klemmzeit demonstriert werden. In der Phase der Ischämie konnten die Ansaugereignisse pro Patient von $3,3 \pm 5,1$ in der Vergleichsgruppe auf $0,8 \pm 1,88$; $p = 0,039$ in der Untersuchungsgruppe reduziert werden. In der Phase der Reperfusion wurde eine Reduktion des Ansaugens von $2,2 \pm 4,03$ Vergleichsgruppe vs. $0,9 \pm 1,83$; $p = 0,19$ Untersuchungsgruppe erreicht.

SCHLÜSSELWÖRTER

MECC, aktive venöse Drainage, venöser Dreistufen-Katheter (Triple-Stage), unterdruckregulierte arterielle Zentrifugalpumpe, Ansaugphänomene, sogbedingter Flussabfall

ABSTRACT

The success of heart surgery in past decades was closely related to the invention and the steady development of the heart-lung machine (HLM) and its components. In recent times it has been shown that extracorporeal circulation (ECC) is still indispensable in modern heart surgery. [1–2] Advantages for the outcome and a better post-operational course for patients that have undergone heart operations and a minimized extracorporeal circulation system have been demonstrated and proven in numerous international studies. [3–16] Compared to the conventional extracorporeal circulation system (CCPB), the major difference with minimized systems, beside the suction blood separation and the drainage of the “valve blood” in the venous line, lies in

the absence of the venous reservoir and the resulting active venous drainage comparable to veno-arterial ECMO (extra corporeal membrane oxygenation). With active venous drainage in a closed extracorporeal circulation system, a continuous stream of blood to the venous cannula is necessary in order to avoid the cannula being aspirated into the right atrium. [17] Through the aspiration of the venous cannula, a higher incidence of micro-bubbles can occur and also a minor perfusion in the patient, depending on the duration of the event [22].

To reduce or avoid this phenomenon altogether, at the Coswig Heart Centre a series of modifications have been made to the minimized extracorporeal circulation system (MECC) and the form of perfusion management during MECC. In addition, a VBT (venous bubble trap) ventilation device (Maquet Cardiopulmonary AG, Hirrlingen, Deutschland) has been added to the venous line of the MECC system in order to counter the problem of air intake. Venous drainage was able to be further optimized by the combined application of a venous triple-stage cannula with a reduced cross-sectional area (venous triple-stage cannula SLIM 28/32 French; Maquet Cardiopulmonary AG) and a vacuum-regulated arterial centrifugal pump. Until then, a two-stage cannula 36-46 French (Medos AG, Stolberg, Deutschland) had been used. In this study, a significant decrease in aspiration phenomena and corresponding flow waste during the clamping time can be demonstrated. In the ischemia phase the aspiration incidents per patient were reduced to 3.3 ± 5.1 in the comparison group at 0.8 ± 1.88 ; $p = 0.039$ in the study group. In the reperfusion phase an aspiration reduction of 2.2 ± 4.03 in the comparison group vs. 0.9 ± 1.83 ; $p = 0.19$ in the study group was achieved.

KEY WORDS

MECC, active venous drainage, venous three-stage catheter (triple-stage), vacu-

um-regulated arterial centrifugal pump, aspiration phenomena, corresponding flow waste

Einleitung

Die Vorteile minimierter extrakorporaler Zirkulationen für das peri- und postoperative Outcome der Patienten nach Bypass-Operation, aber auch nach Klappenersatz, sind messbar und nachgewiesen. [3–12, 14–16, 18–20] Begründet werden diese durch eine Vielzahl von Modifikationen im Vergleich zum konventionellen offenen extrakorporalen Zirkulationssystem (CCPB). Als Beispiele zu nennen sind die Saugerblutseparation und das Aufbereiten des Blutes via Cell-Saver, der Verzicht auf Blut-Luft-Kontaktflächen, die Reduktion der systemischen Oberfläche und die komplette Oberflächenbeschichtung des EKZ-Systems. Insbesondere durch den Verzicht auf ein venöses Hard-Shell-Reservoir ist eine deutliche Oberflächenreduktion sowie die Elimination von Blut-Luft-Kontaktflächen möglich, jedoch sind die Auswirkungen auf die Durchführung der Perfusion und die damit veränderten Anforderungen an das gesamte Operationsteam nicht unerheblich. Bezogen auf die venöse Drainage ähnelt die minimierte EKZ mehr einer veno-arteriellen ECMO als einer konventionellen EKZ. Sowohl die ECMO als auch die MECC arbeiten vorlastabhängig. Der Füllungsstatus des rechten Atriums und der Vena cava inferior sind somit die wichtigsten Determinanten für einen suffizienten Fluss des Systems. Der arterielle Fluss lässt sich während der Operation mit minimierter EKZ nur in Abhängigkeit von der venösen Füllung steigern. Zudem schränkt die unter der Operation immer wieder notwendige Luxation des Herzens den Blutfluss zur venösen Kanüle zusätzlich ein. Der Perfusionist muss während dieser Phasen der Operation den arteriellen Fluss einerseits so hoch halten, dass der Patient optimal perfundiert ist und eine ausreichende Entlastung des rechten Atriums erfolgt, sich das System aber andererseits nicht ansaugt. Um die Implementierung einer venösen Blasenfalle (venous bubble trap; VBT; Maquet) in das MECC-System hinsichtlich ihres Vermögens von Luftelimination zu evaluieren, wurden am Herzzentrum Minisysteme mit und ohne VBT mit einem offenen EKZ-System verglichen [22]. Die Mikroblasen wurden mit Hilfe des Bubble Counters BCC 200 (Gampt, Merseburg) in einem Bereich zwischen 10 und 500 µm gemessen. Nachweislich eliminiert die VBT Luft aus der venösen Linie und ver-

hindert somit, dass die bis dahin größeren Luftblasen (> 500 µm) sich im System „zerstäuben“ und somit als Mikroblasen im arteriellen Blut nachweisbar werden. Eine wichtige Nebenerkenntnis dieser Untersuchung war, dass bei minimierten Systemen nach dem Fest- oder Ansaugen der venösen Kanüle im rechten Vorhof vermehrt Luft in der venösen Linie detektiert wurde. Im Unterschied zum CCPB (venöser Liniendruck beim Ansaugen > -30 mmHg) verstärkt sich der Effekt im Minisystem durch die aktive venöse Drainage (permanenter Liniendruck < -50 mmHg), so dass kurzfristig Unterdrücke unter -160 mmHg wahrscheinlich sind. Die Kopplung der venösen Liniendruckmessung mit einer automatischen Reduktion der Pumpendrehzahl der arteriellen Zentrifugalpumpe half, den starken Unterdruck während des Ansaugens zu vermindern. [3–12, 14–16, 18–20] Das Problem des Ansaugens konnte aber nur teilweise behoben werden. Eine automatische Reduktion der Drehzahl der arteriellen Pumpe geht zudem einher mit einer unkontrollierten Flussreduktion und ist daher allein keine probate Lösung.

Ein möglicher Lösungsansatz ergab sich bei der Betrachtung der physikalischen Gesetze der „Mechanik von Flüssigkeiten in starren Röhren“. Die venöse Kanüle mindert die Fläche des rechten Vorhofs (im Querschnitt). Die Kontinuitätsgleichung besagt, dass das Blut in einer höheren Geschwindigkeit durch den verengten Raum fließen muss, um den Volumenstrom (Menge/Zeiteinheit) aufrechtzuerhalten. Seit Bernoulli [3–12, 14–16, 18–20] weiß man, dass sich mit der Fließgeschwindigkeit auch der Druck am Rande der Flüssigkeit ändert. Das heißt, je höher die Fließgeschwindigkeit ist, desto geringer ist folglich der Druck, der auf die Vorhofwand wirkt. Da der rechte Vorhof keine starre Röhre ist, kann er kollabieren und

sich an die venöse Kanüle anlegen. Die Kanüle saugt sich fest und der Fluss des gesamten Systems kommt temporär zum Stillstand. Die theoretische Lösung ist, den Querschnitt der venösen Kanüle zu verkleinern, um den Raum im rechten Vorhof zu vergrößern und um damit die Fließgeschwindigkeit des Blutes zu den Zuflussbereichen der venösen Kanüle zu reduzieren. In der vorliegenden Untersuchung wurden in der Untersuchungsgruppe dünnere venöse Kanülen (Venous Triple-Stage Catheter SLIM 28/32 French; Maquet) eingesetzt. Endpunkte der Untersuchung waren die Vergleiche der Häufigkeiten von Ansaugphänomenen mit den daraus resultierenden Flussabfällen beider Gruppen. Die These lautet, dass es bei der Verwendung dünnerer venöser Kanülen seltener zu Ansaugereignissen kommt.

Material und Methode

Die Untersuchung wurde als prospektive Anwendungsbeobachtung an 40 konsekutiv ausgewählten Patienten geplant. Beide Patientengruppen erhielten eine ACB-Operation unter Zuhilfenahme des MECC-Systems (Tab. 1).

Vergleichsgruppe: venöse Standard-Zweistufenkanüle Medos MEV 36/46 Fr. (Öffnungsfläche: 370 mm²) und Medos MEV 32/40 Fr. (Öffnungsfläche: 285 mm²)

Untersuchungsgruppe: venöser Dreistufenkatheter SLIM 28/32 Fr. (Öffnungsfläche: 388,64 mm²)

Ausgeschlossen aus den Untersuchungsgruppen wurden Patienten mit bekannten Klappeninsuffizienzen, die sich einer Reoperation unterzogen, Kombinationseingriffe und Notfälle.

Endpunkte der Untersuchung

1. der venöse Liniendruck mit entsprechendem Fluss

Patienten	Vergleichsgruppe: n = 20	Untersuchungsgruppe: n = 20	
Geschlecht (männlich)	75 %	85 %	n. s.
Alter in Jahren	68,25 ± 6,65	70,9 ± 7,67	n. s.
Größe in cm	170,65 ± 7,70	171,20 ± 9,56	n. s.
Gewicht in kg	82,35 ± 12,26	82,05 ± 14,01	n. s.
KOF in m ²	1,94 ± 0,17	1,94 ± 0,19	n. s.
Sollfluss in l/min	4,86 ± 0,43	4,85 ± 0,49	n. s.
EKZ-Zeit in min	74,20 ± 30,05	72,45 ± 22,29	n. s.
Ischämie-Zeit in min	38,80 ± 19,85	39,30 ± 13,50	n. s.
Reperfusion-Zeit in min	27,95 ± 9,61	28,60 ± 8,80	n. s.

Tab. 1: Patientenverteilung

Patienten	Vergleichsgruppe: n = 20	Untersuchungsgruppe: n = 20	Incidence rate ratio (IRR) p: Chi ²
Mittlerer Sog in mmHg	54,68 ± 12,26	67,41 ± 11,65	n. s.
Fluss (-50 bis -60 mmHg) in l/min	5,37 ± 1,00	5,23 ± 0,33	n. s.
Ansaughäufigkeit/ Gruppe	55 %	50 %	n. s.
Ansaugereignisse total	111	39	IRR 2,77* P < 0,001*
Ischämie	66	16	IRR 4,23* P < 0,001*
Reperfusion	44	18	IRR 2,53* P < 0,001*
Ansaugereignisse Mittelwert			
Ischämie	3,3 ± 5,1	0,8 ± 1,88	P = 0,039*
Reperfusion	2,2 ± 4,03	0,9 ± 1,83	P = 0,19
Fluss < 70 % vom Sollfluss			
Ischämie	20	3	P < 0,001*
Reperfusion	12	3	P < 0,001*
Fluss < 50 % vom Sollfluss			
Ischämie	10	2	P = 0,021*
Reperfusion	6	0	P = 0,012*

Tab. 2: Ergebnisse

- die Ansaughäufigkeiten in den drei EKZ-Phasen (EKZ-Start bis Aortenklemmung; Ischämiezeit und Reperfusionphase)
- der durch das Ansaugen bedingte Flussabfall unter den berechneten spezifischen Patienten-Sollfluss ($BSA \times 2,5 \text{ l/min/m}^2$)

Als Herz-Lungen-Maschine diente die HLM 20 mit Rotaflow-Zentrifuge (Maquet). Die Datenaufzeichnung der Parameter, von Zeit, arteriellem Flow sowie arteriellem und venösem Liniendruck erfolgte über das Dokumentationssystem JOCAP XL (Maquet). Die Datenauswertung er-

folgte in Microsoft Excel 2007 (Microsoft Deutschland GmbH, Unterschleißheim) und SPSS 14.0 (SPSS GmbH Software, München). Die Durchführung der EKZ erfolgte gemäß einer klinikinternen Guideline „Zentralstandard EKZ“ und „Minimierte EKZ: MECC“.

Die Ansaughäufigkeit, bezogen auf die Patienten, ergab zwischen Kontrollgruppe: 11 von 20 Patienten (Sollfluss im Mittel 4,93 l/min; $SD \pm 0,48$) und Studiengruppe: 10 von 20 Patienten (Sollfluss im Mittel 4,92 l/min; $SD \pm 0,56$) keinen Unterschied. Das relative Risiko lag somit lediglich bei 1,1 RR (Tab. 2).

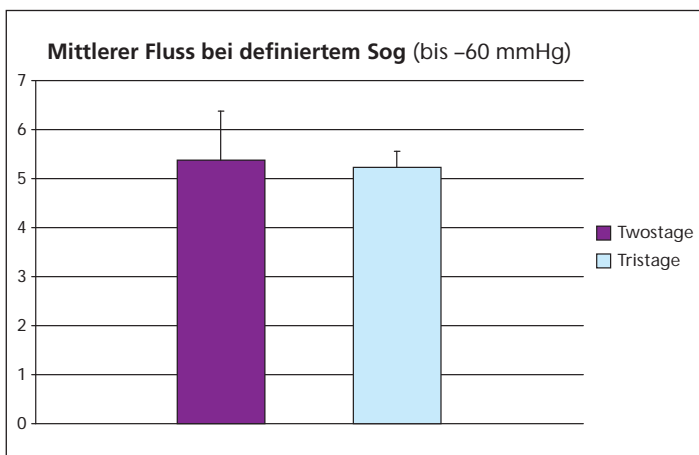


Abb. 1: Vergleich der Drainagemengen bei gleichem Sog

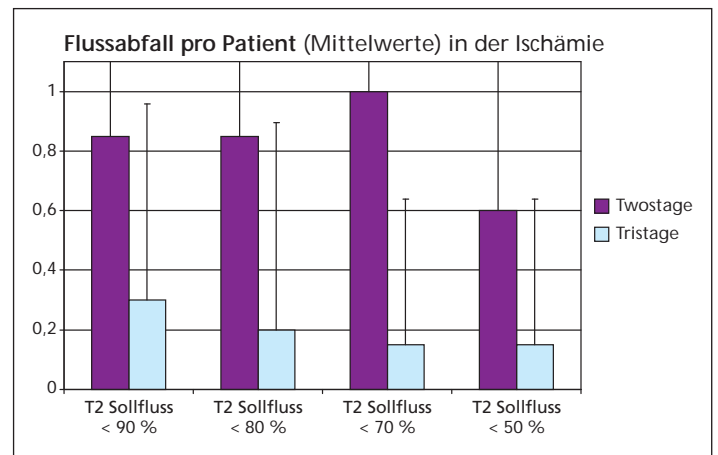


Abb. 2: Flussabfälle in der Phase der Ischämie

DISKUSSION

Da die Öffnungsflächen der benutzten Medos MEV 36/46 und des Dreistufenkatheters SLIM 28/32 Fr. (370 mm^2 vs. $388,64 \text{ mm}^2$) vergleichbar sind, unterstützen die Daten aus der vorliegenden Arbeit die These, dass sich mit einer im Querschnitt reduzierten Kanüle in Kombination mit einer flussreduzierenden venösen Drucklimitation Ansaughänomene in MECC-Systemen reduzieren lassen. Dies gilt bezogen auf diese Untersuchung nur für Systeme mit aktiver venöser Drainage bzw. für alle Minisysteme, wahrscheinlich aber auch für offene EKZ-Systeme mit venöser Vakuumdrainage. Vor allem während der Ischämie traten in der Kontrollgruppe deutlich mehr Ansaughänomene auf. Auch andere Arbeitsgruppen diskutierten dieses Problem und begegneten ihm mit Maßnahmen wie z. B. einem zusätzlichen Reservoir. [21] Der Vorteil der hier vorgestellten Methode liegt in der volumenneutralen Behandlung der Problematik.

Liniendruckmessung und Drainagemenge

Es konnte gezeigt werden, dass bei einem venösen Liniendruck zwischen -50 und -60 mmHg in beiden Patientengruppen nahezu gleiche Flussraten erzielt werden konnten. Somit ist auszuschließen, dass bei der Benutzung einer kleineren venösen Dreistufenkanüle ein niedrigerer Unterdruck zwingend nötig ist, um gleiche Flussraten zu erzielen. (Abb. 1)

Flussabfall bei Ansaugen

Wesentlich entscheidender sind aber die unterschiedlichen Auswirkungen des Ansaugens auf den Sollfluss der Patienten. Kommt es zu einem Ansaugereignis der venösen Kanüle, bedingt dieses eine temporäre Minderung der Perfusion. Gegenüber der Vergleichsgruppe konnte nachgewie-

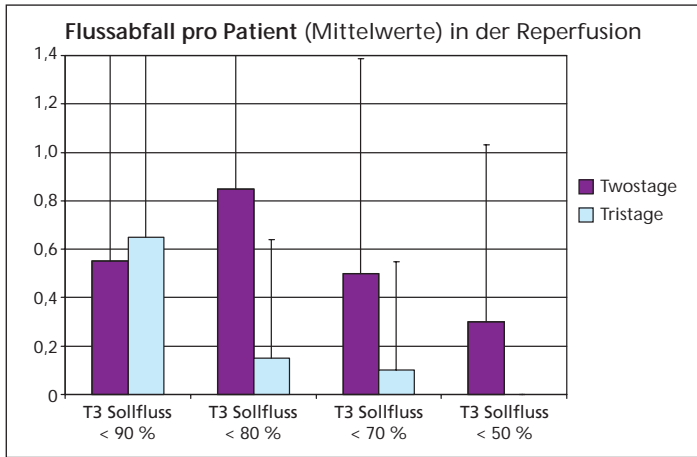


Abb. 3: Flussabfälle in der Phase der Reperfusion

sen werden, dass in der Patientengruppe der venösen Dreistufenkanüle in den Phasen der Ischämie (Abb. 2) und der Reperfusion (Abb. 3) deutlich seltener Flussabfälle von 30 % oder 50 % des errechneten Pumpeinheiten-Volumens auftraten.

SCHLUSSENFOLGERUNG

Durch die Kombination aus einer venösen Dreistufenkanüle und einer unterdruckgesteuerten Zentrifugalpumpe ist es möglich, Ansaugphänomene und damit die durch Ansaugen verursachte Hypoperfusionen zu reduzieren. Eine Vorlasterhöhung des venösen Systems durch die Gabe von zusätzlichen Volumina muss dabei nicht durchgeführt werden. Gerade aber die ausreichende Entlastung des rechten Atriums ist für den Erfolg der Operation von Bedeutung. Denn nur ein gut entlastetes Herz gewährt dem Operateur einen optimalen Operations-Situs und dies bei gleichzeitig komplett abgesicherter systemischer Zirkulation durch die EKZ.

LITERATUR

[1] Boettcher W, Merkle F, Weitkemper HH: History of extracorporeal circulation: the invention and modification of blood pumps. *J Extra Corpor Technol* 2003; 35(3): 184–191

[2] Zalaquett R: Fifty years of the heart-lung machine. Report on the pioneers and heroes and about the circumstances that led to the great invention, which allowed the treatment, and in many cases, the cure of heart illnesses. *Rev Med Chil* 2003; 131(11): 1337–1344

[3] Bauer A et al: Evaluation of hemodynamic and regional tissue perfusion effects of minimized extracorporeal circulation (MECC). *J Extra Corpor Technol* 2010; 42(1): 3–39

[4] Diez C et al: Minimized extracorporeal circulation cannot prevent acute kidney injury but attenuates early renal dysfunction after coronary bypass grafting. *ASAIO J* 2009; 55(6): 602–607

[5] Fromes Y et al: Reduction of the inflammatory response following coronary bypass grafting with total minimal extracorporeal circulation. *Eur J Cardiothorac Surg* 2002; 22(4): 527–533

[6] Haneya A et al: Comparison of two different minimized extracorporeal circulation systems: hematological effects after coronary surgery. *ASAIO J* 2009; 55(6): 592–597

[7] Immer FF et al: Minimal extracorporeal circulation is a promising technique for coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2007; 84(5): 1515–1520; discussion 1521

[8] Panday GF et al: Minimal extracorporeal circulation and off-pump compared to conventional cardiopulmonary bypass in coronary surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2009; 9: 832–836

[9] Prasser C et al: Effect of a miniaturized extracorporeal circulation (MECC System) on liver function. *Perfusion* 2007; 22(4): 245–250

[10] Remadi JP et al: Clinical experience with the mini-extracorporeal circulation system: an evolution or a revolution? *Ann Thorac Surg* 2004; 77(6): 2172–2175; discussion 2176

[11] Remadi JP et al: 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; 151(1): 198

[12] Skrabal CA, Steinhoff G, Liebold A: Minimizing cardiopulmonary bypass attenuates

myocardial damage after cardiac surgery. *ASAIO J* 2007; 53(1): 32–35

[13] Wiesenack et al: Four years' experience with a miniaturized extracorporeal circulation system and its influence on clinical outcome. *Artif Organs* 2004; 28(12): 1082–1088

[14] Abdel-Rahman U et al: Initial experience with a minimized extracorporeal bypass system: is there a clinical benefit? *Ann Thorac Surg* 2005; 80(1): 238–243

[15] Benedetto U et al: Is minimized extracorporeal circulation effective to reduce the need for red blood cell transfusion in coronary artery bypass grafting? Meta-analysis of randomized controlled trials. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2009; 138(6): 1450–1453

[16] Alevizou A, Dunning J, Park JD: Can a mini-bypass circuit improve perfusion in cardiac surgery compared to conventional cardiopulmonary bypass? *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2009; 8(4): 457–466

[17] Simons AP et al: Dynamic filling index: a novel parameter to monitor circulatory filling during minimized extracorporeal bypass. *Eur J Cardiothorac Surg* 2009; 36(2): 330–334

[18] Bein B et al: A new cardiopulmonary bypass circuit with reduced foreign surface (CorX): initial clinical experience and implications for anaesthesia management. *Eur J Anaesthesiol* 2004; 21(12): 982–924

[19] Remadi JP et al: Aortic valve replacement with the minimal extracorporeal circulation (Jostra MECC System) versus standard cardiopulmonary bypass: a randomized prospective trial. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2004; 128(3): 436–441

[20] Palombo D et al: Early experience with the minimal extracorporeal circulation system (MECC) during thoracoabdominal aortic aneurysm repair. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2004; 27(3): 324–326

[21] Lauten A et al: The Jena universal perfusion system: a universal cardiopulmonary bypass circuit for cardiac surgery. *Interact Cardiovasc Thorac Surg* 2007; 6(1): 1–4

[22] www.ebcp.org/documents/PDF/Abstracts_Geneva_2007.pdf

Christian Ulrich
MediClin Herzzentrum Coswig
Lerchenfeld 1
06869 Coswig
c_for_u@web.de