

Mini-ECC vs. konventionelle ECC, eine Betrachtung von venöser Sauerstoffsättigung, Hämoglobin, Hämatokrit und Cardiac Index

ZUSAMMENFASSUNG

In unserem klinischen Alltag fällt auf, dass bei Mini-ECC-Systemen meist geringere Cardiac Indices ohne nachteilige Auswirkungen gefahren werden als an offenen ECC-Systemen. Diese Untersuchung zeigt, dass sich beim Einsatz von Mini-ECC-Systemen das Angebot an Sauerstoffträgern pro Zeiteinheit und Körperoberfläche – trotz eines geringeren Cardiac-Index-Wertes – nicht vom Angebot an einem offenen Standard-ECC-System unterscheidet. Dieses Phänomen erklärt sich durch die wesentlich geringere Hämodilution und dadurch höhere Hämoglobinkonzentrationen.

SCHLÜSSELWÖRTER

Venöse Sauerstoffsättigung, Hämoglobin, Hämatokrit, Cardiac Index, MECC, ECC

ABSTRACT

In our clinical use of minimized ECC-systems, it's conspicuous that, without any disadvantages, mostly lower cardiac indices could be driven as in open ECC-systems. This study shows that the level of

oxygen carriers per time and bodysurface area in perfusions with minimized ECC is as high as in perfusions with open standard ECC-systems. The cause of this is the lower hemodilution and the resulting higher hemoglobin level.

KEY WORDS

Venous oxygen saturation, hemoglobin, hematocrit, cardiac index, MECC, ECC

EINLEITUNG

Minimierte, geschlossene Perfusionssysteme gibt es inzwischen in vielen Varianten und Ausführungen [11], auch wenn der Anteil der minimierten Systeme an der Gesamtzahl der Perfusionen nur langsam wächst. Verschiedene Untersuchungen mit diversen minimierten Perfusionssystemen haben in differenzierten Sättigungsmessungen und Untersuchungen gezeigt, dass die Sauerstoffversorgung der verschiedenen Organsysteme und Körpergewebe gewährleistet ist und die minimierten ECC-Systeme qualitativ hochwertige Perfusionen ermöglichen. [4, 9, 13, 14].

In unserer Klinik werden routinemäßig ein geschlossenes Mini-ECC-System

(MECC-System[®], Minimal ExtraCorporeal Circulation System, Fa. Maquet Cardipulmonary AG, Hirrlingen) (Abb. 1) und ein offenes ECC-System (Terumo Advanced System 1[®], Terumo, Deutschland) (Abb. 2) verwendet. In unserem klinischen Alltag fällt auf, dass während MECC-Perfusion ein tendenziell geringerer Fluss bzw. Cardiac-Index-Wert ausreicht, um eine adäquate Perfusion durchzuführen. Marker dafür sind: Perfusionsdruck, Blutgasanalyse, venöse Sauerstoffsättigung und das gute Outcome der Patienten [3, 4, 8, 10]. Dies widerspricht zum Teil der Erwartung, da z. B. eine Änderung des Cardiac Index eine Auswirkung auf die venöse Sättigung nach sich ziehen sollte [2, 12].

Es ist nun Ziel dieser Arbeit, einige mögliche Unterschiede zwischen dem MECC- und den ECC-Systemen zu untersuchen, zu quantifizieren und eine mögliche Erklärung für das Phänomen der offensichtlich nicht nachteiligen niedrigeren Perfusionsflüsse beim Einsatz von MECC-Systemen zu finden.

MATERIAL UND METHODEN

In der Literatur besteht weitgehend Konsens, dass eine niedrige venöse Sauerstoffsätti-



Abb. 1: MECC-System mit M2-Messgerät



Abb. 2: Das ECC-System auf der Terumo Advanced System 1

gung mit einer mangelhaften Sauerstoffversorgung korreliert und damit während der ECC keine adäquate Perfusion erreicht wird [1, 6, 7]. Zur differenzierten Betrachtung der Gewebe- und Organsättigungen wurde neben dem Hämoglobinwert (HB) bzw. Hämatokrit (HKT) und dem Cardiac Index (CI) der relativ einfach zu erhebende Parameter der gemischtvenösen Sauerstoffsättigung (SvO₂) als Indikator einer eventuell schlechten gesamtkörperlichen Sauerstoffversorgung bestimmt.

Im Rahmen der Untersuchung wurden die Daten von Operationen mit MECC (n = 10) und mit ECC (n = 10) mit dem Sättigungsmessgerät Modell M2 von Spectrum Medical (Spectrum Medical LLP, Cheltenham/GB) ausgewertet und analysiert. Bei allen Perfusionen beider Gruppen kam der Oxygenator Quadrox (Fa. Maquet Cardio-pulmonary AG, Hirrlingen) zum Einsatz.

Alle Operationen wurden in milder Hypothermie durchgeführt, Blasen-temperatur 32 °C. Ausschlusskriterien waren Kreislaufstillstand in tiefer Hypothermie (DHCA) und Gaben von Fremdblut vor und während der extrakorporalen Zirkulation (EKZ).

Die Patientenauswahl erfolgte innerhalb der Ausschlusskriterien konsekutiv. Da die unterschiedlichen ECC-Typen für unterschiedliche Eingriffe indiziert sind, ergibt sich zwangsläufig eine gewisse Ungleichheit in der Gruppenzusammensetzung, welche für diese Betrachtung von uns allerdings als nicht problematisch eingestuft und akzeptiert worden ist. Aus diesem Grund wurde auch auf eine Randomisierung verzichtet.

In der MECC-Gruppe (n = 10) befanden sich nur Patienten mit aortokoronarer Bypassoperation. Kardioplegischer Stillstand wurde mittels Single-Shot-Kardioplegie mit Cardioplexol® (Fa. Bichsel, Interlaken, Schweiz) erreicht. Die Gruppe beinhaltet 9 männliche Patienten und 1 weibliche Patientin mit einem Alter von 60,6 ± 10,4 Jahren. Die durchschnittliche Zeit der extrakorporalen Zirkulation lag bei 107,6 ± 30,9 Minuten, das Primingvolumen des MECC betrug 700 ml. Als Antrieb der MECC-Systeme wurden Rotaflow-Pumpen (Fa. Maquet) verwendet.

Die Vergleichsgruppe der offenen ECC (n = 10) setzt sich zusammen aus aortokoronaren Bypassoperationen (n = 2), isoliertem Aortenklappenersatz (n = 2) und verschiedenen kombinierten Eingriffen (n = 6). Das Primingvolumen am offenen ECC betrug 1600 ml. Als Kardioplegie wurde bei den reinen Bypassoperationen

Messzeitpunkte für die Auswertung	
T1	5 Minuten nach „Aorta zu“
T2	10 Minuten nach „Aorta zu“
T3	15 Minuten vor „Aorta auf“
T4	10 Minuten vor „Aorta auf“
T5	5 Minuten vor „Aorta auf“
T6	„Aorta auf“

Tab. 1: Definition der Messzeitpunkte

ein Single-Shot Cardioplexol verabreicht, bei den reinen Klappenoperationen sowie den kombinierten Operationen wurde als Initialdosis Cardioplexol verwendet, ergänzt durch Gaben von Blutkardioplegie nach Buckberg (Fa. Bichsel, Interlaken, Schweiz). Diese Patientengruppe umfasst 7 männliche und 3 weibliche Patienten im Alter von 73,4 ± 8,9 Jahren. Die durchschnittliche Perfusionszeit lag bei 107,7 ± 36,9 Minuten.

Nach Start der EKZ wurde das Spectrum-Medical-Sättigungsmessgerät mittels einer venösen Vergleichsblutgasanalyse justiert.

Für die Blutgasanalysen wurden i-Stat 1 Analyser Modell 300 (Fa. Abott/Fa. Axon-Lab, Baden, Schweiz) und i-Stat-CG8+-Kartuschen verwendet.

Nach dem Öffnen der Aortenklamme wurden keine Daten mehr miteinbezogen, da beim MECC-Verfahren nach Öffnen der Aortenklamme und dem meist sehr schnellen Einsetzen des Herzrhythmus das Herz sofort wieder einen Teil des Herzzeitvolumens (HZV) selbst übernimmt und somit keine vergleichbaren Daten mehr erfasst werden können (Tab. 1).

Die deskriptive Statistik besteht aus Mittelwert ± Standardabweichung für die Beschreibung der Patienten-Kollektive und die Messwerte während der Perfusion. Angesichts der kleinen Gruppen

wurde auf Angaben in Prozent verzichtet und die absolute Anzahl angegeben. Um die Unterschiede zwischen den Systemen ECC und MECC während der relevanten Operationsdauer vergleichen zu können, war es trotz der geringen Patientenanzahl notwendig, die Verläufe mit Messwiederholungsanalyse zu untersuchen (repeated measures ANOVA).

Die statistische Analyse wurde mit SPSS for Windows Version 15.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) durchgeführt.

ERGEBNISSE

Die x-Achsen aller Diagramme stellen die Messzeitpunkte T1 bis T6 dar.

Auf die Darstellung der Standardabweichungen wurde in den Diagrammen zugunsten der besseren Übersichtlichkeit verzichtet. Interessierte Leser können diese Informationen als Datentabelle beim Autor anfordern.

Der Verlauf des SvO₂ zeigt über alle Messpunkte gesehen in der Repeated-Measures-Auswertung keinen signifikanten Unterschied (p = 0,078).

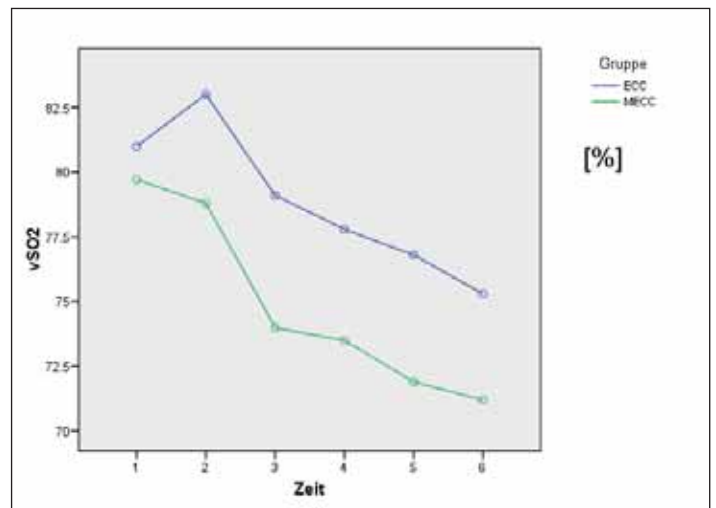


Abb. 3: Diagramm des SvO₂-Verlaufs

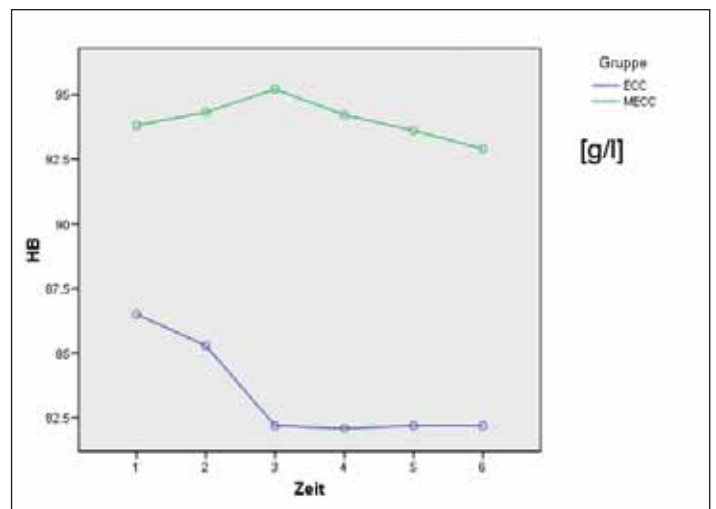


Abb. 4: Diagramm des HB-Verlaufs

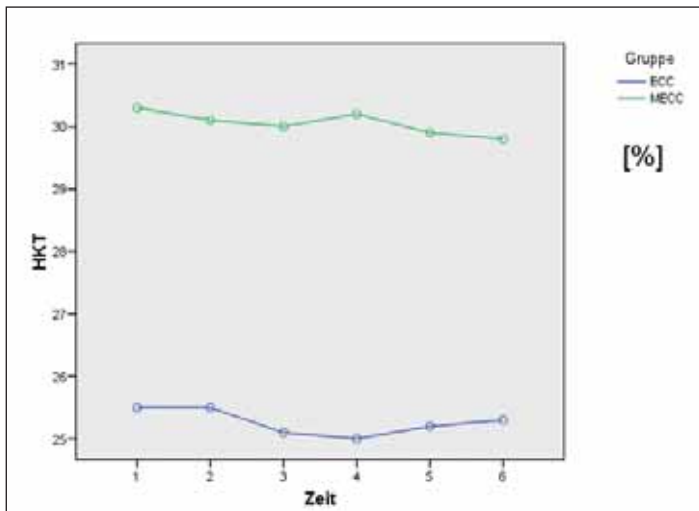


Abb. 5: Diagramm des HKT-Verlaufs

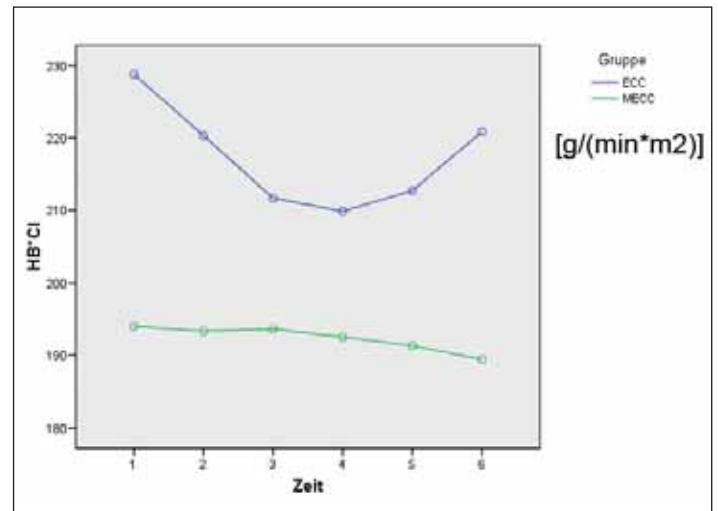


Abb. 7: Diagramm des HB*CI-Verlaufs

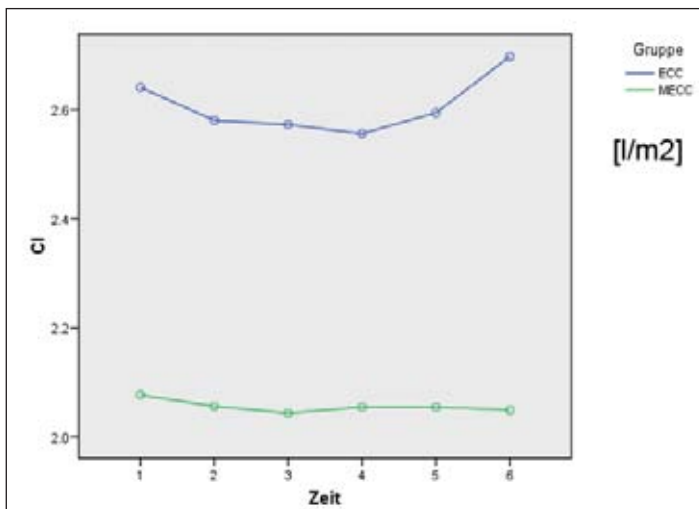


Abb. 6: Diagramm des Cardiac-Index-Verlaufs

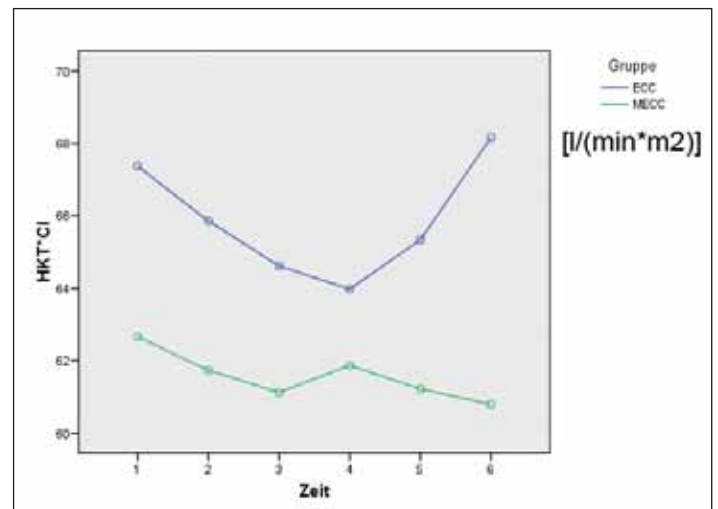


Abb. 8: Diagramm des HKT*CI-Verlaufs

Der Mittelwert aller Messwerte ergibt für die MECC-Gruppe einen Wert von $74,9 \pm 5,1$ % und für die ECC-Gruppe $78,8 \pm 7$ % (Abb. 3).

Über alle Messpunkte gesehen sind die Verläufe von HB ($p = 0,012$) sowie auch von HKT ($p < 0,001$) in der Repeated-Measures-Auswertung signifikant unterschiedlich (Abb. 4).

Der Mittelwert aller HB-Messwerte ergibt für die MECC-Gruppe einen Wert von $94 \pm 9,9$ g/l und für die ECC-Gruppe $83,4 \pm 7,6$ g/l. Beim HKT ergeben alle Messwerte wiederum für die MECC-Gruppe einen Wert von $30,1 \pm 2,3$ % und für die ECC-Gruppe $25,3 \pm 1,1$ % (Abb. 5).

Der Cardiac-Index-Verlauf zeigt in der Repeated-Measures-Auswertung über alle Messpunkte hinweg gesehen einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen ($p < 0,001$).

Der Mittelwert aller Einzelwerte über alle Messpunkte hinweg ergibt für die MECC-Gruppe einen Wert von $2,06 \pm 0,18$ l/(min*m²) und für die ECC-Gruppe $2,61 \pm 0,34$ l/(min*m²) (Abb. 6).

Das Produkt aus CI und HB zeigt die Menge des Hämoglobins pro Zeiteinheit und Quadratmeter Körperoberfläche, also die Menge Sauerstoffträger pro Minute und Quadratmeter KOF. Die statistische Auswertung ergibt für diesen Verlauf über alle Messpunkte hinweg gesehen lediglich eine grenzwertig knappe Signifikanz ($p = 0,047$).

Der Mittelwert aller Einzelwerte über alle Messpunkte hinweg ergibt für die MECC-Gruppe einen Wert von $192,4 \pm 18,1$ g/(min*m²) und für die ECC-Gruppe $217,4 \pm 34,3$ g/(min*m²) (Abb. 7).

Bei der Betrachtung des Anteils aller zellulären Bestandteile im Blutvolumen in Verbindung mit dem Cardiac Index (HKT*CI) ist in der Repeated-Measures-Auswertung über alle Messpunkte hinweg kein signifikanter Unterschied festzustellen ($p = 0,165$).

Der Mittelwert aller Einzelwerte über alle Messpunkte hinweg ergibt für die MECC-Gruppe einen Wert von $0,616 \pm 0,046$ l/(min*m²) und für die ECC-Gruppe $0,659 \pm 0,092$ l/(min*m²) (Abb. 8).

DISKUSSION

Der Abfall der SvO₂-Werte in beiden Gruppen im Verlauf der Perfusionen erklärt sich aus dem erhöhten Sauerstoffbedarf beim Wiedererwärmen der Patienten (Messpunkte 3 bis 6).

Die gemessenen SvO₂-Werte zeigen jedoch keinen signifikanten Unterschied zwischen der ECC-Gruppe und der MECC-Gruppe, trotz eines signifikant niedrigeren Cardiac Index bei Zirkulationen mit dem MECC-System. Dies überrascht, da speziell eine solch deutliche Änderung des Cardiac Index eine signifikante Auswirkung auf die venöse Sättigung haben sollte [2, 12].

Jedoch waren gleichzeitig sowohl HB als auch HKT am MECC-System signifikant höher, bei der Auswertung der Sauerstoffträger pro Zeiteinheit und m² KOF wurde nur ein grenzwertig signifikanter Unterschied festgestellt. Weitet man diese Betrachtung auf alle zellulären Blutbestandteile pro Zeiteinheit und m² KOF aus, ist kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen mehr nachweisbar.

Die Niveaus unterscheiden sich also kaum zwischen den beiden Perfusionsarten.

Da also die Anzahl der Sauerstoffträger bzw. die zellulären Blutbestandteile pro Zeiteinheit und m^2 KOF und die gemessenen venösen Sauerstoffsättigungen in beiden Gruppen annähernd gleich sind, ist es aufgrund der erhöhten HB- und HKT-Werte am MECC-System möglich, bei extrakorporalen Zirkulationen einen signifikant niedrigeren Cardiac Index zu fahren. Hierdurch wird die Quantität des Sauerstoffangebotes und damit der gesamten Sauerstoffversorgung nicht beeinträchtigt.

Diese Ergebnisse bestätigen die Daten einer dänischen Studie über normovoläme Hämodilution im Tierversuch. Dort konnte gezeigt werden, dass eine Senkung des HB durch normovoläme Hämodilution physiologisch mittels einer Erhöhung des Cardiac Output kompensiert wird, um das Sauerstoffversorgungsniveau, inkl. venöser Sauerstoffsättigung, stabil zu halten [5].

Diesem physiologischen Kompensationsmechanismus entsprechend ermöglicht die systembedingte, geringere Hämodilution des MECC-Systems im Vergleich mit dem offenen Standard-ECC-System eine adäquate Perfusion mit deutlich geringeren Perfusionsflüssen bzw. Herzminutenvolumina während des kardiopulmonalen Bypasses.

Der Effekt, mit geringerem Cardiac Index ein gleichwertiges Niveau an Sauerstoffträgern anbieten zu können, eröffnet in der Perfusionstechnologie der minimierten ECC-Systeme neue Ansätze zur Wei-

terentwicklung. Wenn man grundsätzlich niedrigere Cardiac Indices einkalkulieren und ansetzen kann und die Flüsse dementsprechend niedriger im Vergleich zum offenen Standard-ECC sind, ist auch der generelle Einsatz von kleineren Kanülengrößen denkbar oder auch der Einsatz von kleineren Oxygenatoren, welche die Größe der Fremdoberflächen und deren negative Effekte auf den menschlichen Organismus weiter reduzieren könnten. Dies eröffnet neue Perspektiven in der Entwicklung zukünftiger minimalisierter Bypasssysteme.

LITERATUR

- [1] Baraka A, Naufal M et al: Correlation between cerebral and mixed venous oxygen saturation during moderate versus tepid hypothermic hemodiluted cardiopulmonary bypass. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2006; 20(6): 819–825
- [2] Ho KM, Harding R, Chamberlain J: The impact of arterial oxygen tension on venous oxygen saturation in circulatory failure. *Shock* 2008; 29(1): 3–6
- [3] Immer FF, Ackermann A et al: Minimal extracorporeal circulation is a promising technique for coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* 2009; 87(1): 352–353
- [4] Immer FF, Pirovino C et al: Minimal versus conventional cardiopulmonary bypass: assessment of intraoperative myocardial damage in coronary bypass surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2005; 28: 701–704
- [5] Krantz T, Warberg J, Secher NH: Venous oxygen saturation during normovolaemic hemodilution in the pig. *Acta Anaesthesiol Scand* 2005; 49(8): 1149–1156
- [6] Meineke M, Ott E et al: Clinical feasibility tests on a novel optical on-line blood monitoring sensor for cardiopulmonary systems. *Medical Laser Application* 2007; 22: 248–255

[7] Müller T, Pfeifer M, Muders F: Das Monitoring der zentralvenösen und gemischtvenösen Sauerstoffsättigung in der Intensivmedizin. *Intensivmedizin und Notfallmedizin* 2003; 40(8): 711–719

[8] Philipp A, Foltan M et al: MECC – ein minimiertes EKZ-System für ACB-Operationen. *Kardiotechnik* 2001; 1: 14–19

[9] Philipp A, Schmidt FX et al: Miniaturisierte extrakorporale Kreislaufsysteme. *Kardiotechnik* 2006; 1: 3–8

[10] Stalder M, Gyax E et al: Minimized cardiopulmonary bypass combined with a smart suction device: the future of cardiopulmonary bypass? *Heart Surg Forum* 2007; 10(3): E235–238

[11] Schmidt S, Philipp A et al: Mikroblassenaktivität in miniaturisierten EKZ-Systemen. *Kardiotechnik* 2007; 1: 8–12

[12] Vaughn S, Puri VK: Cardiac output changes and continuous mixed venous oxygen saturation measurement in the critical ill. *Crit Care Med* 1988; 16(5): 495–498

[13] Wegener K, Skrabal C et al: Zerebrale Oxygenierung und Auftreten von Mikroembolien unter minimierter EKZ. *Kardiotechnik* 2006; 1: 9–12

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

Thomas Döbele
Klinik für Herzchirurgie/Kardiotechnik
Universitätsspital Basel
Spitalstr. 21
4031 Basel/Schweiz
tdoebele@uhbs.ch