



KARDIOTECHNIK

Perfusion | Monitoring | Organprotektion | Medizinische Informatik | Elektrostimulation

Offizielles Organ der Deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik e. V. | The Official Publication Organ of the German Society for Cardiovascular Engineering



Möglichkeiten und Grenzen zur Automatisierung des extrakorporalen Kreislaufs auf der Basis allgemeiner Steuerungs- und Regeltechnik – ersetzt der Autopilot den Kardiotechniker?

B. Seibel, J. Gehron, A. Böning

Kliniknahe Forschung an Hohlfasermembranoxygenatoren

A. Kaesler, G. Wagner, U. Steinseifer, J. Arens



sozial
ehrenamtlich
Jobs schaffen
beruflich



FÜR SIE, VON UNS – ENGAGEMENT

Synonyme: Aktivität, Anteilnahme, Begeisterung, Beschäftigung, Beteiligung, Bindung, Eifer, Enthusiasmus, Hingabe, Interesse, Kampf, Mitwirkung, Teilnahme, Unterstützung, Arbeitsplatz, Arbeitsstelle, Beruf, Beschäftigung, Job, Position, Posten, Arbeit, Verpflichtung.

Engagement: Soziales Engagement, freiwilliges und ehrenamtliches soziales Handeln, intensiver Einsatz für eine Sache, ähnlich auch Anstrengung, die vertragliche Verpflichtung eines Künstlers, in der Finanzwelt das Exposure, ein bei Mitarbeiterbefragungen verwendeter Begriff als Teil der Erhebung der Mitarbeiterzufriedenheit.

Herausgeber, Verlag/Editor, Publisher

Kardiotechnik Verwaltungsgesellschaft mbH, D. Lorenz, Bad Nauheim

Mitherausgeber und Redaktion/Co-Editors and Editorial Staff

M. Diefenbach, Frankfurt/M.; M. Foltan, Regensburg; J. Gehron, Gießen (Schriftleiter); R. Klemm, Freiburg;
P. Kirsten-Treptow, Hamburg; U. Wolfhard, Essen; M. Wollenschläger, Bad Nauheim.

Wissenschaftlicher Beirat/Editorial Board

A. Bauer, Coswig; C. Benk, Freiburg; M. Beyer, Augsburg; F. Beyersdorf, Freiburg; D. Buchwald, Bochum; M. Fischer, Galway/Irland;
I. Friedrich, Trier; G. Haimerl, Villingen-Schwenningen; H. Keller, Frankfurt/M.; K. Klak, Bochum; R. Klemm, Freiburg; A. Liebold, Ulm;
J. Optenhöfel, Hannover; U. Schirmer, Bad Oeynhausen; C. Schmid, Regensburg; J. T. Strauch, Bochum; A. Thrum, Regensburg

Die Zeitschrift KARDIOTECHNIK veröffentlicht im Peer-Review-Verfahren Originalartikel, klinische und experimentelle Arbeiten, Fallberichte, Übersichtsreferate, Leserbriefe und Buchbesprechungen aus dem Bereich Perfusion, Monitoring, Organprotektion, Medizinische Informatik und Elektrostimulation.

The German Journal of Perfusion KARDIOTECHNIK is a peer-reviewed journal. It publishes original articles, clinical and experimental papers, case reports, review articles, letters to the editors and book reviews in the field of perfusion, monitoring, organ protection, computer science in medicine and electric stimulation.



Titelbild

Seit der Firmengründung 1921 trägt **Terumo** kontinuierlich zu der medizinischen Versorgung von Menschen in über 160 Ländern bei.
Weitere Informationen finden Sie auf der Website www.terumo-europe.com.

Inhalt

	Seite
Editorial	103
Möglichkeiten und Grenzen zur Automatisierung des extrakorporalen Kreislaufs auf der Basis allgemeiner Steuerungs- und Regeltechnik – ersetzt der Autopilot den Kardiotechniker?	
<i>B. Seibel, J. Gehron, A. Böning</i>	104
Kliniknahe Forschung an Hohlfasermembranoxygenatoren	
<i>A. Kaesler, G. Wagner, U. Steinsiefer, J. Arens</i>	109
Neues aus der Industrie	114
Aktuell: Mit neuem Antrieb zur mobilen Herzunterstützung können Kinder nach Hause entlassen werden	115
Wenn jede Sekunde zählt	116
Biologische Herzklappe der Zukunft	117
UKSH-Team implantiert 4-Elektroden-Defibrillator	117
Regensburger ECMO-Zentrum ausgezeichnet: deutschlandweit einmalig, weltweit unter den besten	118
Bücherjournal	119
Journal-Club	120
Kongressnotizen: 13. Freiburger Herz-Kreislauf-Tage	122
Mitteilungen der DGfK	123
Kongresstermine	124
Impressum	124

Heft 1/2015

Erscheinungstermin
7.2.2015
Einsendeschluss für
● redakt. Beiträge
5.12.2014
● Anzeigenaufträge
12.1.2015

Heft 2/2015

Erscheinungstermin
29.5.2015
Einsendeschluss für
● redakt. Beiträge
17.2.2015
● Anzeigenaufträge
28.4.2015

Redaktion KARDIOTECHNIK
im Internet: <http://www.dgfk.de>

Gelistet und indexiert in:
Current Contents Medizin
EMBASE – Excerpta Medica
SCImago Journal & Country Rank
SCOPUS

Editorial



Liebe Leserinnen
und Leser,
liebe Kolleginnen
und Kollegen,

Automation hatte und hat für die produzierende Industrie zahlreiche Vorteile. Sie ermöglicht eine durchgängige Kontrolle von Fertigungsprozessen, eine hohe Fertigungsqualität durch den Ausschluss des menschlichen Faktors und erlaubt somit eine höhere Produktivität und einen effizienteren Einsatz von materiellen Ressourcen. Neben der Produktivität spielt die Arbeitssicherheit und Entlastung aber ebenfalls eine wichtige Rolle. So hatte der Occupational Health and Safety Act (OSHA) von 1970 in den Vereinigten Staaten vor allem das Wohlergehen der Fabrikarbeiter im Blick. Den Segen automatisierter Fertigung in der Automobilbranche wissen wir nicht erst heute zu schätzen. Die Kehrseite ist allerdings eine damit oft verbundene Rationalisierung von Arbeitskräften, um den hohen Faktor der Personalkosten zu senken.

Automation und Rationalisierung machen auch vor dem Gesundheitssystem nicht halt. Unter diesem Aspekt gewinnt der Beitrag von Seibel et al. zum kardio-technischen Autopiloten eine ganz andere Bedeutung. Die Funktion des Autopiloten ist in der Luftfahrt dazu gedacht, die Piloten während längerer Flüge von Routineaufgaben zu entlasten und ihnen damit Raum für weitere Planungen und Berechnungen während des Fluges zu geben. Blindes Vertrauen auf eine regelrechte Funkti-

on führte in der Vergangenheit allerdings schon zu Flugunfällen mit fatalen Folgen. Ergo benötigt der Autopilot nach wie vor eine menschliche Kontrollinstanz mit tiefem und breitem Wissen über den Kontext und die Verlässlichkeit der Messsysteme.

Dazu einen kurzen Ausflug zum Anfang der 90er Jahre: Bei der damaligen Planung eines privaten Herzzentrums in einer deutschen Großstadt war die Planungsfirma der Ansicht, dass die EKZ bereits soweit perfektioniert und automatisiert sei, dass man zur Betreuung mehrerer parallel laufender OP-Säle eigentlich nur einen Kardiotechniker benötige. Er könne die EKZ jeweils sukzessiv etablieren und intermittierend kontrollieren. Wir wissen alle, wie illusorisch diese Vorstellung ist.

Ansatzweise ist eine Automation während der EKZ aber bereits möglich, umgesetzt und, wie die Benutzung von Sicherheitseinrichtungen, in internationalen Richtlinien verankert. Sie dient damit aber mehr der Patientensicherheit als der Entlastung der Kardiotechnik. Da Regelung nur bei in Echtzeit vorliegenden Messwerten möglich ist, wird ein Autopilot nach wie vor Zukunftsmusik bleiben. Bereits während der Entwicklung der EKZ im letzten Jahrhundert hatten die ersten Systeme Sensoren, die eine Nachführung der Gassteuerung ermöglichte. Selbst heute sind wir wegen der Komplexität dieser Regeltechnik kaum weiter. Die Automation während der EKZ findet deswegen noch immer hauptsächlich in Simulationen bzw. experimentellen Modellen statt.

Menschliche Kommunikation und die Befundung von Laborparametern lassen sich nur schwer quantifizieren und machen damit den Unterschied zur Luftfahrt deutlich. Der menschliche Faktor ist zwar dort auch nicht ausgeklammert, dient aber mehr als Kontrollinstanz. Für die Steuerung der EKZ in der Zukunft wird dies einen höheren Grad der Kenntnis über Steuer- und Regelsysteme verlangen, um im Zweifelsfall automatisierte Prozesse und deren Folgen richtig verstehen und bewerten zu können. Mehr denn je ist hier eine fundierte Ausbildung notwendig.

Ein anderer Weg der Automation zeigt sich im Bereich der Oxygenatorentwicklung, beschrieben von Kaesler et al.. Verlagert man extrakorporale Oxygenatoren zurück in den Körper, um langfristig einen Lungenersatz zu etablieren, so werden große Teile der Regelung vom körpereigenen Kreislauf wahrgenommen. Bereits vor vielen Jahren wurden dazu Konzepte publiziert und auch jüngst wieder als Illustration eines Prototypen auf einer deutschen Anästhesietagung vorgestellt.

Ich wünsche Ihnen viel Freude beim Lesen, eine geruhige Weihnachtszeit und viel Elan und Erfolg für das kommende Jahr 2015.

Johannes Gehron
Schriftleiter

PATIENTS LIVE INNOVATION

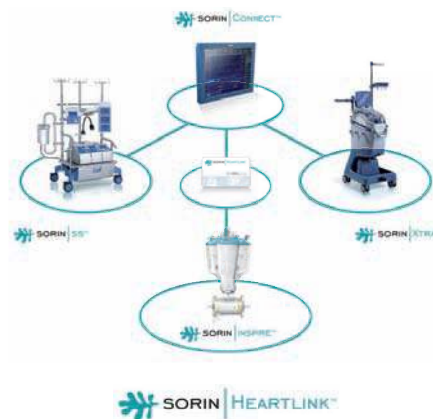
RE-DEFINING PERFUSION
ACCORDING TO YOUR PATIENT'S NEEDS



EQUIPPED TO PERFORM

Sorin Group cardiac surgery innovative solutions are specifically designed to provide adequate perfusion to the patient.

Combining the minimized hemodilution impact of Inspire oxygenators, with the oxygen delivery monitoring, made available by Connect and GDP Monitor, allows to implement the Goal-Directed Perfusion, aimed at reducing occurrence of Acute Kidney Injury (AKI) and shortening intensive care and hospital length of stay.



CARDIAC SURGERY SOLUTIONS

Möglichkeiten und Grenzen zur Automatisierung des extrakorporalen Kreislaufs auf der Basis allgemeiner Steuerungs- und Regeltechnik – ersetzt der Autopilot den Kardiotechniker?

ZUSAMMENFASSUNG

Über 100.000 Menschen werden jährlich in der Bundesrepublik Deutschland am offenen Herzen operiert. Trotz eines routinierten, professionalisierten OP-Ablaufes besteht immer noch ein Restrisiko, postoperative neurologische Schäden davonzutragen. Dieses Thema ist Gegenstand verschiedener Forschungsprojekte mit dem Ziel, zusätzliche Sicherheit durch Automatisierungsprozesse an der Herz-Lungen-Maschine (HLM) zu schaffen, vergleichbar mit einem Autopiloten. Die Steuerungs- und Regeltechnik bildet die Grundlage dieser Projekte. Klassische Regler kommen hier ebenso zur Anwendung wie digitale und intelligente Systeme. Niveauregulierung, Blasenerkennung und Gasflussregelung sind etablierte Regelmechanismen der HLM und werden von verschiedenen Institutionen wie z. B. der AmSECT (American Society of Extracorporeal Technology) regelmäßig durch Handlungsempfehlungen in ihrer Wichtigkeit unterstrichen.

Nach ersten Automatisierungsversuchen in den 70er und 80er Jahren wurde im Jahr 2002 ein virtuelles und miteinander verlinktes Patienten- und EKZ-Modell entworfen. 2010 konnte ein Untersucherteam der Technischen Hochschule Aachen mit drei Modellen virtueller, hydraulischer und tierexperimenteller Art gute Ergebnisse zur autonomen Hämodynamikregelung anhand einer ECLS-Konsole belegen. Hier fand ein „intelligenter“ Fuzzy-Regler Anwendung. Auch die Regelung von ECMO- und VAD-Systemen wurde von verschiedenen Gruppen untersucht. Gasflussanpassung an Partialdrücke (ECMO-Versuch) sowie Anpassung der Pumpleistung an den physiologischen Patientenbedarf (VAD) waren die erklärten Ziele. Die jüngsten Versuche zur Automation aus dem Jahr 2013 befassten sich mit der Korrelation von Gasfluss zu Blutfluss während der EKZ. Ein japanisches Team testete dies am experimentellen mechanischen Aufbau mit zwei Oxygenatoren und im Tierversuch.

Bisher veröffentlichte Studien zum Thema automatisierte HLM lieferten interessante Teilaspekte, welche den Handlungsspielraum und die Informationsbasis von Kardiotechnikern/innen erweitern können. Weniger erforscht sind z. B. die regelhafte Kontrolle des Antikoagulationsstatus sowie die konkrete Messung der realen Organperfusion als valide Rückführgröße. Auch die interdisziplinäre Kommunikation im OP erscheint im Kontext zur Automation der HLM schwierig. Die Forschungsansätze sind innovativ und deuten auf einen weiteren Ausbau des Automatisierungsgrades der HLM hin, lassen jedoch in naher Zukunft keine Regelung im Sinne eines Autopiloten erwarten.

SCHLÜSSELWÖRTER

Extrakorporale Zirkulation, Herz-Lungen-Maschine, Automation, Mess- und Regeltechnik, Signalverarbeitung, Sicherheit

ABSTRACT

Annually over one hundred thousand people in Germany receive open heart surgery. Despite a professional and well-practiced operation procedure the risk of post-operative neurological complications still remains. Various research projects have focused on this issue, with the aim of increasing safety through the automation of cardiopulmonary bypass (CPB), akin to an autopilot mode in aviation. All these efforts are based on control technologies, in which classic controls are implemented alongside digital and intelligent systems. Regulating levels and gas flow, and detecting bubbles are established control mechanisms of CPBs; various institutions, for example AmSECT (American Society of Extracorporeal Technology), regularly underscore their importance by recommending their application. After initial automatization attempts in the 1970s and 1980s, a computer-based model, investigating patients and cardiopulmonary bypass, was developed in 2002. In 2010 a research team from the Tech-

nical University of Aachen was able to demonstrate good results in regulating hemodynamics by using an ECLS computer console; the three models used in their research were of virtual, hydraulic and animal-experiment nature respectively. The Aachen team made use of an intelligent, fuzzy regulator. The regulation of ECMO and VAD systems was also researched by various groups.

The defined goals were to regulate gas flows in terms of partial pressures (an ECMO experiment) and also to regulate pump performance in terms of physiological patient needs (VAD). The most recent automation experiments from 2013 were concerned with the correlation between gas flow and blood flow during cardiopulmonary bypass. A Japanese team tested this in an experimental mechanized set-up with two oxygenators, and in an animal experiment.

Published studies to date on the subject of automated CPBs communicated interesting aspects, which can broaden the possibilities of action and the information basis available to perfusionists. A regulated control of anti-coagulation status, and a concrete measurement of real organ perfusion as a valid feedback variable, remain examples of less-researched areas. Interdisciplinary communication during surgery also seems problematic in the context of automation of CPBs. The directions of research are innovative and indicate a further growth in the level of automation CPBs. However, regulation in the sense of full auto-pilot can not be expected in the near future.

KEYWORDS

Cardiopulmonary bypass, heart-lung machine, automation, measurement and control technology, signal processing, safety

EINLEITUNG

In der Bundesrepublik Deutschland werden jedes Jahr über 100.000 Menschen am offenen Herzen operiert [1]. Davon ist der

Teil der Patienten, welche „on pump“ behandelt werden, im Vergleich zu minimal-invasiven Verfahren immer noch sehr hoch. Aufgrund dessen kann man durchaus von einem routinierten, professionalisierten Ablauf des Eingriffes reden.

Tatsache aber ist, dass trotz stetiger technischer Weiterentwicklung der Herz-Lungen-Maschine (HLM) und zunehmender Fachkompetenz des Operationsteams immer noch ein entsprechendes Restrisiko besteht, z. B. postoperative neurologische Schäden davonzutragen.

Als Ursache wird neben einigen anderen die Minderperfusion der inneren Organe durch die HLM diskutiert, trotz entsprechend vorausgegangenem Setting der notwendigen Perfusionsparameter wie Flowberechnung anhand der Körperoberfläche und des Cardiac Index.

Da der tatsächliche Perfusionsbedarf der Organe bzw. der reale Perfusionsdruck nicht bestimmbar ist, muss diese Möglichkeit grundsätzlich in Betracht gezogen werden [2].

An dieser Stelle setzt die Entwicklungsarbeit zur Prävention solcher Ereignisse ein. Die Bereitstellung einer angepassten, individuellen Organdurchblutung durch optimierte Strategien ist Gegenstand vieler Forschungsprojekte in der Herzchirurgie. Es wurde und wird untersucht, ob eine mögliche automatische Regelung der HLM bzw. ihrer Teilbereiche hier hilfreich sein könnte. Würde gar eine Art Autopilot möglicherweise eine Reproduzierbarkeit schaffen und zur Qualitätssicherung und Sicherheit des Patienten beitragen?

Neben einer kurzen Einführung in die allgemeine Steuerungs- und Regeltechnik soll der vorliegende Artikel einen Einblick über einige der in den letzten Jahren durchgeführten Forschungsarbeiten zum Thema Automatisierbarkeit von HLM, VADs und ECMO geben.

STEUERUNGS- UND REGELTECHNIK

Was verbirgt sich hinter dem Begriff Regelungstechnik? Zunächst wird man dieses Thema wohl in einen primär technisch funktionellen Zusammenhang bringen wollen. Doch finden sich auch in vielerlei natürlichen Systemen Regelkreise, welche dazu geschaffen wurden, lebenswichtige Vorgänge in höheren Lebewesen zu etablieren, wie z. B. Regelung von Körpertemperatur, Blutzucker, Sauerstoff und Kohlendioxidgehalt oder die Akkomodation der Pupille. Verschiedene Kombinationen von Regelungen fügen sich zu Regelkreisen zusammen, wie der aufrechte Gang oder Radfahren [3].

Regelungstechnische Vorgänge im industriellen Umfeld haben in der heutigen Zeit eine Komplexität angenommen, welche eine manuelle Steuerung praktisch unmöglich macht. Darum ist man schon seit längerem dazu übergegangen, Einrichtungen zur automatischen Überwachung von Steuerung und Regelung zu schaffen. Beide Funktionen, Steuern und Regeln, werden gemeinhin unter dem großen Oberbegriff Automatisierung zusammengefasst. Sämtliche verfahrens- und fertigungstechnische Produktionsprozesse in Industrieanlagen, technische Meilensteine wie die Atomenergie oder die Raumfahrt wären ohne Automatisierung nicht realisierbar.

Die Technik des Steuerns und Regels beinhaltet, dass bestimmte Vorgänge des technischen Prozesses vom Menschen so beeinflusst werden können, dass das Betriebsergebnis ganz nach individuellen Vorstellungen schon als Sollwert vorgegeben werden kann. Eine wichtige Aufgabe der Domäne Regelungstechnik ist hierbei, dass für die vielen unterschiedlichen technischen Systeme die entsprechenden Regler entworfen werden müssen [4].

„Das Regeln, die Regelung ist ein Vorgang, bei dem fortlaufend eine variable Größe, die Regelgröße, erfasst, mit einer anderen variablen Größe, der Führungsgröße, verglichen und im Sinne einer Angleichung an die Führungsgröße beeinflusst wird. Kennzeichen für das Regeln ist der geschlossene Wirkungsablauf, bei dem die Regelgröße im Wirkungsweg des Regelkreises fortlaufend sich selbst beeinflusst“ [DIN IEC 60050-351] (Abb. 1).

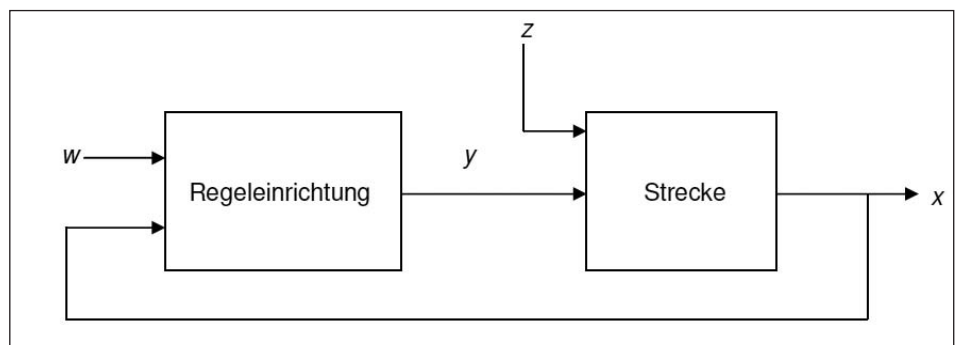


Abb. 1: Wirkungsplan einer Heizkreisregelung w = Führungsgröße (Temperatur Sollwert), y = Stellgröße (Heizwassertemperatur), x = Regelgröße (Temperatur Istwert), z = Störgröße.

Die so genannte Regeldifferenz bewirkt eine permanente Nachführung von x an w .

Regeldifferenz = Führungsgröße – Regelgröße

Formel: $e = w - x$

Klassische Regler

Die Wahl des jeweiligen Reglers richtet sich nach dem erforderlichen Zeitverhalten und der gewünschten Regelgenauigkeit der Regelstrecke. Man unterscheidet:

– P-Regler (proportional)

- I-Regler (integral)
- PI-Regler (proportional/integral)
- PD-Regler (proportional/differential)
- PID-Regler (proportional/integral/differential) [5].

Während der I-Regler einen relativ trägen Anstiegsverlauf beschreibt, sind die Regler proportionaler und differentialer Güte weitaus schneller im Ansprechverhalten.

Der PID-Regler wird im technischen Umfeld sehr häufig eingesetzt und vereinigt die Attribute aller drei Regelarten in sich.

Bei digitalen Reglern erfolgt die Signalverarbeitung nur noch über Mikroprozessoren statt der bei klassischen Reglern üblichen Operationsverstärker [6].

Fuzzy Regler

Dieser Reglertyp (Abb. 2) ist in der Lage, aufgrund seiner Struktur nicht klar abgrenzbare Inputs zu klar definierten Ausgangsfunktionen umzuwandeln. Unscharfe („fuzzy“) Begriffe wie z. B. kalt, warm oder indifferent werden durch hinterlegte Regelprämissen und sich daraus ergebende sogenannte Erfülltheitsgrade zu Stellgrößen verändert [7].

REGELTECHNIK AN DER HLM

Schaut man sich die HLMs an, welche derzeit in den deutschen Operationssälen zum Einsatz kommen, so kann man feststellen, dass diese Maschinen schon über eine ganze Anzahl von regelungstechnischen Einrichtungen verfügen. Teilweise stehen diese bereits unter automatischer Kontrol-

le der Maschine, teilweise stehen sie dem Kardiotechniker in seinem Handlungsspielraum direkt zur Verfügung. Alle sind aber in direkter Linie zu den vorweg beschriebenen grundlegenden Regelprinzipien zu sehen.

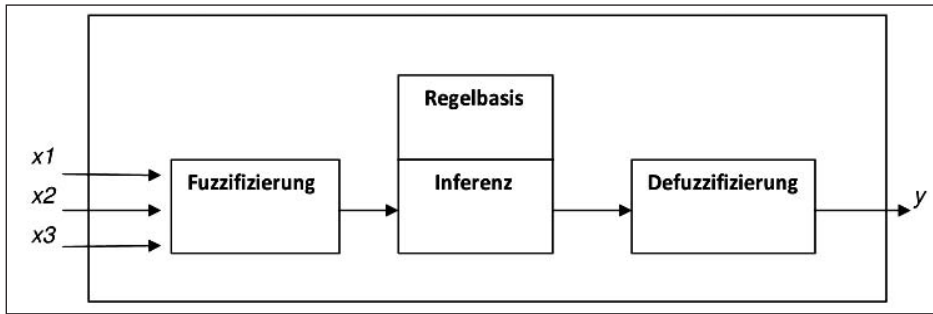


Abb. 2: Fuzzy-Controller

Versucht man das komplexe Thema der Steuerungs- und Regeltechnik mit einer HLM in Verbindung zu bringen, sollte zunächst eine Auseinandersetzung mit den relevanten Sicherheitsaspekten erfolgen, welche mit der Perfusionstechnik bzw. der extrakorporalen Zirkulation eng verbunden sind. Wird im Rahmen einer herzchirurgischen OP oder einer kreislaufunterstützenden Maßnahme eine EKZ durchgeführt, so ist dies mit erheblichem Gefahrenpotenzial verbunden. Dies ist Thema vieler Richtlinien und Empfehlungen. Organisationen wie z. B. die American Society of Extracorporeal Technology (AmSECT) oder das damit verbundene International Consortium for Evidence Based Perfusion (ICEBP) machen sich seit etwa 20 Jahren Gedanken über effektive Patientensicherheit mit der EKZ und geben dazu auch entsprechende Handlungsempfehlungen heraus. So sind neben der kontinuierlichen Weiterbildung und Qualifizierung der Kardiotechniker, der speziellen Weitergabe von evidenzbasiertem Wissen auch sicherheitsspezifische Details einer HLM Teil der Empfehlungen. So werden im neuesten Report von Robert A. Baker aus dem Jahre 2013 im Rahmen von 15 aufgestellten Standards die sogenannten „Safety devices“ (Standard 6) aufgeführt. U. a. werden als wichtige Sicherheitsvoraussetzung genannt: „Pressure monitoring, bubble detector, level sensor, temperature monitoring“ [8].

Eine moderne HLM der heutigen Zeit hat standardmäßig eine Fülle von installierten technischen Sicherheitseinrichtungen. Diese lassen sich unterteilen in rein mechanische Komponenten wie arterieller Filter oder ein Vent Ventil und solche, die an einen elektronischen Überwachungs- oder Messkreislauf angeschlossen sind. Dies sind z. B. der Niveausensor (Regeltrigger durch Kapazitätsänderung eines Dielektrikums), der Blasensensor (Regeltrigger durch Ultraschalldetektion von Luftblasen) oder der elektronische Gasblender (Regeltrigger nach dem Prinzip der thermischen Massendurchflussmessung).

FORSCHUNGSKONZEPTE ZUR AUTOMATISIERUNG VON HLM, ECMO UND VAD

Bereits in den 70er und 80er Jahren gab es Bestrebungen, die damals noch nicht ausgereifte Technik der HLM durch Automatisierungsversuche zu optimieren. 1978 machten sich Prilutskii et al. erste Gedanken zu einem möglichen Design und Kontrollsystemen für eine Automatisierung. Hämodynamik, Oxygenierung, Gefäßsystem und Temperaturparameter standen damals schon im Vordergrund [9].

Virtueller Versuchsaufbau von Boschetti

Um einer zusätzlichen Sicherheit während eines herzchirurgischen Eingriffs näherzukommen, entwarfen Boschetti et al. 2002 in Mailand einen virtuellen Patienten und ein ebenso virtuelles EKZ-Modell. Fünf Hauptbereiche repräsentierten das menschliche Modell:

- Hämodynamik (Blutzirkulation, Blutdruck, Flow)
- Biochemie (Blutgastransport, Säure-Basen, O₂-Sättigung, HCO₃)
- Körpervolumen (Flüssigkeitshaushalt)
- Thermik (Kerntemperatur, venöse Bluttemperatur)
- Medikamentenwirkung (arterielle und venöse Vasodilatoren, Diuretika, Bikarbonat)

Biometrische Daten wie Gewicht und Größe konnten in gleicher Weise simuliert werden, um eine genaue und realistische Berechnungsgrundlage zu schaffen.

Drei Hauptbereiche stellten den virtuellen Maschinenkreis dar:

- Gas-Transfer (arterieller pO₂, pCO₂, pH, O₂-Sättigung)
- Wärmetauscher (arterielle Bluttemperatur)
- Hämodynamik (Pumpe, Oxygenator, Filter, Schlauchsystem, Kanülen, Druck und Flowraten)

Beide Simulationen wurden miteinander verlinkt, um interagieren zu können.

Boschetti bescheinigte seinem Simulationsmodell eine gute Reproduzierbarkeit

und empfahl es zu Lehr- und Trainingszwecken für Kardiotechniker. Fernerhin sah er es als wichtigen zukunftsweisenden Schritt in Bezug auf weitere Forschung und Entwicklung zur Automatisierung einer HLM.

Fuzzy-Regelung der EKZ von Baumgartner

Baumgartner und Kollegen entwickelten im Jahr 2010 drei verschieden geartete Versuchsaufbauten, um einen selbstkontrollierenden extrakorporalen Kreislauf anhand eines Fuzzy-Reglers zu schaffen. Die Studie wurde aufgrund der Überlegung durchgeführt, dass es sinnvoll wäre, neben der Entlastung von Kardiotechnikern im OP-Umfeld auch im außerklinischen Notfall eine unkomplizierte und weitgehend autonome, mobile Maschine zur Hand zu haben. Damit wäre in akuten Stresssituationen eine zusätzliche Patientensicherheit gegeben. [10]

Getestet wurden eine mechanische Zirkulation und ein virtuell generierter Kreislauf. Des Weiteren wurde an normalen Hausschweinen eine tierexperimentelle Untersuchung durchgeführt.

Der Fuzzy-Regler innerhalb der Kontrollereinheit hatte die primäre Aufgabe, Hämodynamik eigenständig zu regulieren. Oxygenierung, Blutgasregelung oder anderes waren nicht Gegenstand der Untersuchung. Der Regler wurde mit zwei Eingängen und einem Ausgang ausgestattet. Bei Flow- oder Druckabsenkung bestand die Regelantwort in Erhöhung der HLM-Drehzahl, bei Flow- oder Druckerhöhung war die Antwort folglich eine Absenkung der Drehzahl.

In allen drei Versuchsanordnungen wurde eine lineare Anpassung der Pumpendrehzahl erreicht.

Das Untersucherteam um Baumgartner empfand die Regelung auf Basis eines Fuzzy-Reglers darum als durchaus geeignet für die speziellen Anforderungen, welche im extrakorporalen Kreislauf zu bewältigen sind.

ECMO-Regelung

Eine relativ aktuelle Arbeit zu einem Versuchsaufbau einer geregelten ECMO mit Schwerpunkt Gastransfer veröffentlichten Tobias Wartzek und Kollegen von der RWTH Aachen im Jahr 2009. Hier wurden grundlegende physikalische Modelle mit der Simulationssoftware Matlab/Simulink mathematisch verwirklicht. Die nötigen Regelalgorithmen wurden mit Parametern erstellt, die aus anderen Veröffentlichungen, Datenblättern und Studien bekannt waren [11].

Vorrangig ging es in dieser Arbeit um die zielgenaue Regelung des Gastransfers anhand der gemessenen Blutgaswerte pO_2 und pCO_2 (Regelgrößen). Diese wurden mit dem Blutgasanalysator CDI 500 der Firma Terumo gemessen und ermittelt und zwar vor und nach dem Oxygenator. Die entsprechenden Stellgrößen, Sauerstoff und Gasfluss, lieferte ein elektronischer Gasblender, das Stellglied innerhalb des Regelkreises. Bei einer Messdauer von max. 250–300 s konnte die Einregelung auf den Sollwert von FiO_2 und pO_2 bereits innerhalb von 50–70 s bei ausreichender Stabilität erreicht werden.

Regelversuch VAD

Ein wissenschaftlicher Versuch am Helmholtz Institut für Biomedizinische Technik in Aachen befasste sich 2004 mit der automatischen Anpassung der Pumpleistung eines Rotations-VAD an den physiologischen Bedarf des Patienten. Dieser wird in der Regel manuell eingestellt und richtet sich nach den biometrischen Daten und den jeweiligen klinischen Erfordernissen des Körpers. Es kann sich nicht dynamisch auf niedriges Vorlastvolumen (Gefahr des Ansaugens) oder hohes Volumenangebot einstellen (Abb. 3).

Die Gruppe um Finocchiaro hatte die Idee, mit Hilfe eines Kreislaufsimulators ähnliche physiologische Mechanismen wie den Frank-Starling-Effekt des Herzens in einem VAD zu implementieren und über die Drehzahlerhöhung eine automatische Anpassung der Pumpe an das Füllvolumen des Herzens zu ermöglichen. Dies sollte mit der Messung des Vorhof(soll)drucks durch spezielle Drucksensoren an der Einlasskanüle des VAD geschehen. Zusätzlich sollte die Pumpleistung sich auf physiologische Zustände wie Tachykardie bei körperlicher Belastung einstellen können. Ein weiterer Drucksensor im Auslass des VAD registrierte hierzu die Aortendruckpulse zur weiteren Verarbeitung als Frequenzsignal. Ein PID-Regler innerhalb der Regelstrecke gab die Sollfrequenz der Pumpe vor [12].

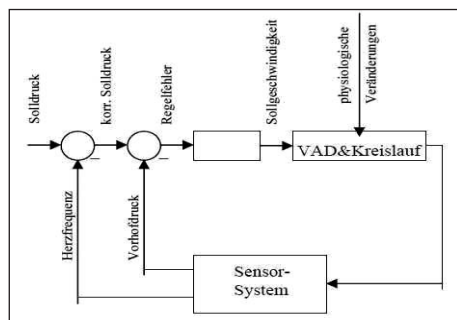


Abb. 3: VAD-Regelung

Die beschriebenen guten Ergebnisse in dieser Studie ermutigten die Untersucher, in einem nächsten Schritt die Regelung unter den Bedingungen eines Tierversuchs zu testen und weiter zu verbessern.

Synchronisation von Sauerstoff und Blutfluss

Eine der jüngsten experimentellen Untersuchungen zum Thema Automatisierungskonzepte für die HLM führten Okahara et al. im Jahr 2013 durch (Abb. 4). Um ein optimales Ventilations-Perfusions-Verhältnis (V/Q) zu schaffen, unternahmen sie den Versuch, Blutflow und Sauerstoffflow aufeinander abzustimmen. Die Versuchsreihen wurden in vitro und in vivo (Tierexperiment) mit dem Ziel gestartet, einen neuen Mechanismus zu konstruieren, der einen sicheren Gasaustausch vor allem zu Beginn der extrakorporalen Zirkulation (EKZ) garantieren sollte. Dies gelang durch die Verlinkung eines Flowmeters mit der Gasblender-Einheit des Sauerstoffs über einen speziell entwickelten Massenfluss-Controller (MFC), wodurch von Beginn an ein konstanter pO_2 -Level erreicht werden konnte [13].

Für die In-vitro-Untersuchung wurde 37 °C warmes Erythrozytenkonzentrat benutzt. Ein primärer Oxygenator versorgte das Blut mit Sauerstoff und eliminierte das Kohlendioxid. Ein zweiter Oxygenator hatte die gegenteilige Aufgabe, also CO_2 und Stickstoff über die Membran in das Blut zu transferieren und somit zu deoxygenieren. Letzteres simulierte quasi den Sauerstoffverbrauch und die CO_2 -Produktion eines Organismus. Eine zentrale Controllereinheit empfing die Blutflowraten vom Ausgang einer Zentrifugalpumpe und

setzte sie im Verhältnis zu einem V/Q-Setting, in diesem Fall mit einer Ratio von 0,5 pro 1 l Blutflow. Ausgangsseitig war die Controllereinheit mit dem Massenflussgerät (MFC) verbunden und dieses wiederum mit einem elektronischen Gasblender. Es war nun möglich, den Gasfluss in Abhängigkeit vom Pumpenfluss, welcher auf 1, 2 und 3 l eingestellt wurde, dem Oxygenator zuzuleiten. Die Sauerstoffkonzentration wurde auf 50 % festgelegt. Ein CDI-500 Blutgas-Monitorgerät war für die kontinuierliche Messung von pO_2 , pCO_2 und SvO_2 zuständig.

Die gleichen für das Experiment entwickelten Geräte wurden in einem zweiten Versuch an einem Hausschwein verwendet. Das Tier wurde nach entsprechender Anästhesie und Intubation sternotomiert und komplett kanüliert an eine HLM mit offenem venösen Reservoir angeschlossen. Ein Herzstillstand wurde mit kardioplegischer St.-Thomas-Lösung herbeigeführt. Hier war das Ziel der Untersuchung, die automatische Gasinsufflation unter verminderten Blutflow-Bedingungen, 4 l/min und 2 l/min am lebenden Organismus zu testen. Zusätzlich sollte im Versuch die Körpertemperatur von 37 °C ausgehend, auf 32 °C, 28 °C und 25 °C abgesenkt werden.

Es wurde festgestellt, dass die Kohlendioxidwerte in der Kühlphase interessanterweise anstiegen, jedoch niemals kritische Werte erreichten. Die pO_2 -Werte hingegen bewiesen Stabilität und stiegen (erwartungsgemäß) bei Abkühlung und niedrigem Flow an, die venösen Sättigungswerte reagierten adäquat bis leicht erniedrigt unter Normaltemperatur. Die Gasinsufflation funktionierte spontan nach V/Q-Maßgabe. Für die Zukunft sah das Untersucherteam

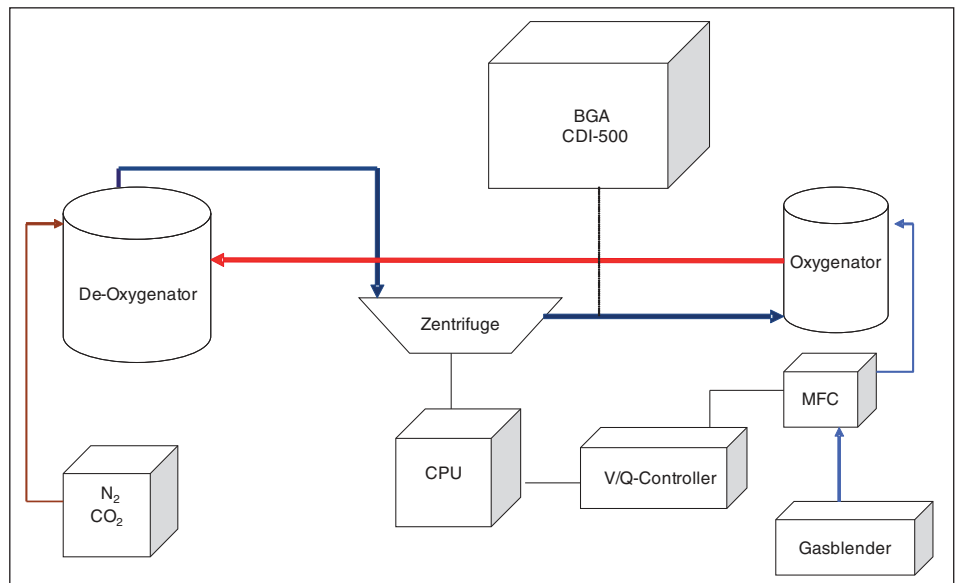


Abb. 4: In-vitro-Versuch nach Okahara

weiteren Entwicklungsbedarf, um die Sicherheit des experimentellen Aufbaus auch unter klinischen Bedingungen zu erproben.

DISKUSSION UND AUSBLICK

Resümiert man die vorliegenden Fakten, so ergeben sich vielerlei Lösungsansätze, um die Informationsbasis und den Handlungsspielraum des/der Kardiotechnikers/in zu erweitern.

Die gewonnenen Erkenntnisse dienen der Ergänzung vorhandenen Wissens, stellen aber bislang keinesfalls ein Äquivalent zur konventionellen EKZ dar. Die bisher veröffentlichten Studien lieferten kein Gesamtkonzept, sondern untersuchten im Wesentlichen umrissene Teilbereiche. Viele Aspekte bleiben unklar, da es bis dato noch an konkreten Rückführgrößen wie der Messung der Organperfusion mangelt, um ein wirklich sicheres Perfusionsmonitoring zu gewährleisten.

Die permanente automatische Überwachung der Blutgase und des Säure-Basen-Haushalts, sowie die daraus resultierenden möglichen Konsequenzen auf Automationsstufe sind allenfalls rudimentär erforscht und bieten keine Alternative zur manuellen Intervention.

Weitere Teilbereiche kardiotechnischer Aufgabengebiete an der HLM wie Antikoagulation, erforderliche Gabe von Blutkomponenten und Medikamenten sowie die ständige Kontrolle des Antikoagulationsstatus sind im Kontext der Automatisierung ebenfalls noch nicht erforscht.

Weitere Unwägbarkeiten ergeben sich im Hinblick auf die menschliche Kommunikation während des CPB. Es stellt sich hier die Frage, wie eine „Autopilot-HLM“ wohl in die wichtige interaktive Kommunikation aller an der Herzoperation beteiligten Personen miteinbezogen werden könnte. Hier wäre die Entwicklung von Spracherkennung notwendig. Noch gravierender erscheint die Frage vor dem Hintergrund von Stress und Notfallsituationen, welche schnelles situatives Handeln erfordern. Es erscheint schlüssig, dass nur ein selbständig handelnder Mensch mit entsprechender Fachkompetenz auf dem Gebiet der kardiovaskulären Perfusion den genannten Anforderungen entsprechen kann.

Der klinische und sicherheitstechnische Nutzen der schon implementierten Regelmechanismen an der HLM ist unstrittig und nicht mehr wegzudenken. Die vorgestellten Forschungsansätze bieten in Teilbereichen innovative Ergebnisse, welche weiterhin einen Ausbau des Automatisierungsgrades der HLM erwarten lassen. Jedoch erscheint

angesichts des jetzigen Forschungsstands eine komplette Automatisierung im Sinne eines Autopiloten für die nähere Zukunft wenig wahrscheinlich.

LITERATUR

1. Deutsche Gesellschaft für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie (DGTHG): Herzbericht 2011, unter: [http://www.dgthg.de/PM_2013\(02/2013\)](http://www.dgthg.de/PM_2013(02/2013))
2. Meyrowitz G: *Automatisierung der Herz-Lungen-Maschine*. Berlin: Mensch und Buch 2005: 271
3. Schumacher W, Maurer M: *Grundlagen der Regelungstechnik*. Vorlesungsskript Technische Universität Braunschweig; 10/2011: 1–2
4. Krah JO: *Skript zur Vorlesung Regelungstechnik* Ingenieurwissenschaftliches Zentrum der FH Köln. 02/2013: 5–10
5. http://www.rn-wissen.de/index.php/Regelungstechnik#Vergleich_der_Reglertypen, 12/2013
6. Michels K, Klawonn F, Kruse R, Nürnberger A: *Fuzzy-Regelung*. Grundlagen, Entwurf, Analyse. Berlin/Heidelberg: Springer 2002, 109–115
7. Ottens M, Jaouad S: *Einführung in die Regelungstechnik mit Fuzzy-Logik*. Skript zur Lehrveranstaltung der Technischen Fachhochschule Berlin; Fachbereich VI, WS 2009/2010: 4–5
8. Baker RA et al: *Report from AmSECT's International Consortium for Evidence-Based Perfusion: American Society of ExtraCorporeal Technology Standards and Guidelines for Perfusion Practice*. *Journal of Extra Corporeal Technology JECT* 2013; 45: 161–162
9. Prilutskii V, Tropskii S, Khrenov V, Slavyak Y: *Analysis of control systems for extra-corporeal circulation equipment*. *Biomedical Engineering* 1978 Jul; 12(4): 196–199
10. Baumgartner B, Mendoza A, Schreiber U, Eichhorn S, Krane M, Bauernschmitt R, Knoll A: *A comprehensive approach towards extracorporeal-circulation control using fuzzy logic*. Technische Universität München, unter: <http://www6.in.tum.de/Main/Publications/Baumgartner2010b.pdf> (01.2014)
11. Wartzek T, Walter M, Stollenwerk A, Kopp R, Kashefi A, Leonhardt S: *Automatisierung der extrakorporalen Membranoxygenierung*. Tagungsband *Automed 2009 VDI Verlag*: 25–26
12. Finocchiaro T, Mussmann B, Kwant PB, Reul H (RWTH-Aachen): *Regelung eines pulsatilem Herzunterstützungssystems (VAD)*. Tagungsband *Automed*: 97–98
13. Okahara S, Ninomiya S, Miyamoto S, Takahashi H, Kurosaki T, Sueda T: *A novel measurement and delivery system for synchronizing oxygen gas flow with blood flow during cardiopulmonary bypass*. *Perfusion* 2013, 28(5): 403–408

INTERESSENKONFLIKT

Die Autoren haben keine finanziellen Interessen oder Beziehungen, die zu Interessenkonflikten führen könnten.

Burkhard Seibel
Universitätsklinikum Gießen und Marburg
GmbH
Standort Gießen
Klinik für Herz-, Kinderherz- und Gefäß-
chirurgie
Abt. Kardiotechnik
Rudolf Buchheim Str. 7
35392 Gießen
Burkhard.Seibel@paediat.med.uni-giessen.de



HMT – Experten für Schlauchsets Unabhängig und erfahren



QUALIFIED MEDICAL SERVICE

- Schlauchsets individuell angepasst auf die Bedürfnisse der jeweiligen Klinik und des OP-Teams
- Produziert im Reinraum mit viel Erfahrung und Präzision im Detail
- Qualität heißt Sicherheit für den Patienten

Sprechen Sie uns an!

HMT Medizintechnik GmbH
Frauenstraße 30, 82216 Maisach
tel. 08141 4003-0 fax 08141 4003-60

www.hmt-ffb.de

Kliniknahe Forschung an Hohlfasermembranoxygenatoren

ZUSAMMENFASSUNG

Oxygenatoren werden heute auf Basis von Hohlfasermembranen hergestellt. Während der Kurzzeiteinsatz klinische Routine ist, bestehen für die Langzeitanwendung nach wie vor Herausforderungen, um zukünftig eine zuverlässigere Ergänzung oder Alternative zur künstlichen Beatmung zu schaffen. Im Folgenden werden zwei Ansätze und Ergebnisse verschiedener Gruppen auf Basis von Hohlfasermembranen vorgestellt: eine Kombination aus Pumpe und Oxygenator als integrierte Komponenten und parakorporale Systeme, die auf zusätzliche, klassische Komponenten eines extrakorporalen Kreislaufs verzichten. Aufgrund des fortgeschrittenen Entwicklungsstadiums ist in naher Zukunft der Schritt zur klinischen Anwendung zu erwarten.

SCHLÜSSELWÖRTER

Oxygenatoren, Hohlfasermembran, Integration von Komponenten, Pump-Oxygenatoren, parakorporal

ABSTRACT

The manufacture of oxygenators today is based on hollow fiber membranes. While the short-term applications of these oxygenators have become part of clinical routine, there are still challenges for long-term usability, to establish a more reliable addition to or indeed replacement for mechanical ventilation.

In the following, two approaches and the results of a number of groups working with hollow fiber membrane technology are introduced. To summarize these two approaches: the first is a combination of pumps and oxygenators as integrated components; the second is concerned with paracorporeal systems which function without the classic components of extracorporeal circulation. This research is at an advanced stage and the next step into clinical application can be expected in the near future.

KEYWORDS

Oxygenators, hollow fiber membrane, integration of components, pump-oxygenators, paracorporeal

EINLEITUNG

Der Einsatz von Hohlfasermembranoxygenatoren bei Herzoperationen ist klinische

Routine. Auch in der Langzeitanwendung werden Oxygenatoren für eine extrakorporale Lungenunterstützung eingesetzt. Insbesondere bei akutem Lungenversagen kann die extrakorporale Membranoxygenierung eine schonende Alternative zur künstlichen Beatmung darstellen. Limitationen dieser Systeme bestehen derzeit vor allem in der Langzeitanwendung, durch die begrenzte Biokompatibilität, den über die Anwendungsdauer stagnierenden Gasaustausch und die Handhabbarkeit beim Austausch von Komponenten.

Um diese Limitationen zu eliminieren oder zumindest zu verringern, werden verschiedene Forschungsansätze verfolgt. Zwei der am vielversprechendsten erscheinenden Forschungsansätze sollen im Folgenden anhand von aktuellen Veröffentlichungen beschrieben werden:

1. Ein Ziel der aktuellen Forschungsanstrengungen ist die Integration der beiden Hauptbestandteile eines extrakorporalen Kreislaufs, Oxygenator und Pumpe, zu einem Device.
2. Ein weiterer Forschungsschwerpunkt wird durch parakorporale Lungenunterstützungssysteme gebildet. Zum Support nach einer Lungentransplantation oder um die Wartezeit auf ein Spenderorgan zu überbrücken, sollen diese direkt an die Herzgefäße angeschlossen werden, wodurch auf weitere Komponenten wie eine Pumpe verzichtet werden kann.

Die Basis für integrierte Komponenten und parakorporale Systeme bildet die bestehende Hohlfasermembrantechnologie.

Integration von Komponenten

Die zur Verknüpfung der Einzelkomponenten benötigten Schlauchverbindungen sind ein Hauptverursacher des hohen Füllvolumens extrakorporaler Kreisläufe. Um die Schlauchlängen und damit die Hämodilution zu verringern und zugleich eine höhere Gastransferrate zu erreichen, werden die Blutpumpe und das Faserbündel in einem Gehäuse vereint. Die Integration von Pumpe und Oxygenator in ein kompaktes System, das dann auch nahe am Patienten positioniert werden kann, reduziert das Füllvolumen und verbessert die Handhabung des extrakorporalen Kreislaufs. Durch Reduktion der mit Blut in Kontakt stehenden Oberfläche wird zusätzlich die Hämokompatibilität verbessert.

Zur Erstversorgung im Notfall ist mit dem Cardiohelp ein solcherart gestaltetes System bereits auf dem Markt erhältlich, wobei die Pumpe und der Oxygenator hier „nur“ kombiniert und nicht integriert wurden (Abb. 1). Das kompakte, tragbare Gerät mit einem Füllvolumen von 600 ml wurde entwickelt, um Patienten hiermit vor Ort und während des Transports in ein Krankenhaus stabilisieren zu können [6, 4, 13].

An weiteren integrierten Systemen wird zurzeit in verschiedenen Forschungseinrichtungen gearbeitet.

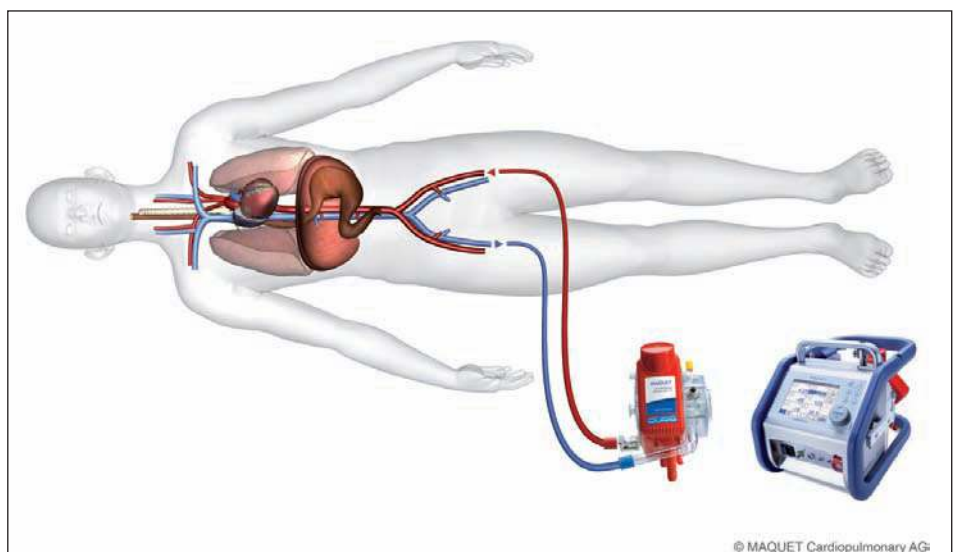


Abb. 1: Cardiohelp von Maquet [15]



Abb. 2: Fotos des ExMeTrA Pump-Oxygenators; Seitenansicht (links) und Aufsicht (rechts): Zu erkennen sind die Silikon-Pumpschläuche in den blauen Feldern in der Aufsicht [5]

Expansion Mediated Transport & Accumulation (ExMeTrA)

Das Lehr- und Forschungsgebiet Kardiovaskuläre Technik des Helmholtz-Instituts der RWTH Aachen entwickelt unter dem Namen ExMeTrA einen Oxygenator mit integrierter pulsatile Pumpe für die pädiatrische Anwendung. Der wesentliche Unterschied zu anderen Pump-Oxygenatoren ist, dass die Pumpwirkung durch expandierende und kollabierende Silikonschläuche, die innerhalb des Hohlfasermembranbündels angeordnet sind, erzeugt wird (Abb. 2).

Innerhalb des ovalen Faserbündels sind 62 Silikonschläuche mit einem Innendurchmesser von 2,0 mm symmetrisch angeordnet. Abhängig von der Anzahl an Pulsen pro Minute (20–110 bpm) kann der Blutfluss bis zu 500 ml/min betragen. In vitro wurden fünf Prototypen mit einem Füllvolumen von 20 ml, einer Membranoberfläche von 0,24 m² bei einem Begasungsverhältnis von 2:1 getestet. Die Pumpleistung der fünf Prototypen lag bei 200–500 ml/min. Der Gastransfer für O₂ lag bei allen Modulen über 32 ml/min. Damit wur-

de eine O₂-Sättigung $\geq 98\%$ erreicht. Der CO₂-Austausch lag bei über 31,3 ml/min, wobei die CO₂-Partialdruckdifferenz des Blutes über den ExMeTrA zwischen 10,5–16,63 mmHg lag [5].

Integrated Heart Lung Assist Device (IHLAD)

Das National Cardiovascular Center Research Institute in Japan entwickelt das Integrated Heart Lung Assist Device. Ziel der Entwicklung ist ein möglichst kompaktes Design von Pumpe und Oxygenator in einem Gerät (Abb. 3). Untersucht wurde zudem, inwiefern es möglich ist, den Oxygenator bereits vorgefüllt bis zur Verwendung einzulagern. Das ursprüngliche Konzept des IHLAD wurde bereits 1991 von Tsumi et al. vorgestellt [21].

Der IHLAD besteht aus einer Zentrifugalpumpe mit magnetischem Antrieb und einem zylindrischen Oxygenator, der den Rotor der Pumpe umschließt [1, 10]. Blut wird oberhalb des Rotors zugeführt und durch einen Diffusor nach außen und radial durch das Membranbündel gepumpt. Das

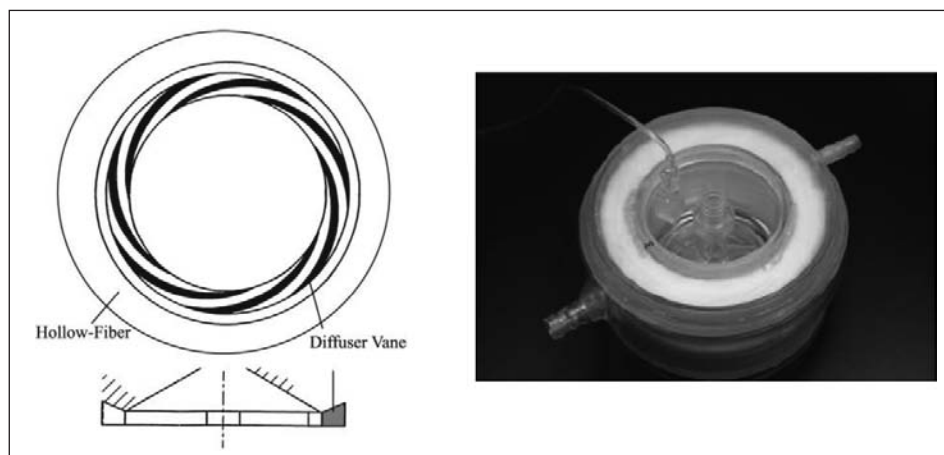


Abb. 3: Integrated Heart Lung Assisted Device (IHLAD) [21]

aktuelle Design des IHLAD hat ein Füllvolumen von 165 ml und eine Membranoberfläche von 1,48 m². Die Oberfläche ist mit der Heparinbeschichtung T-NCVC versehen, die einen Langzeiteinsatz ermöglichen soll [21].

Der Gasaustausch wurde in vivo im Tiermodell Ziege in einem veno-arteriellen Bypass gemessen. Der maximale O₂-Austausch betrug 340 ml/min bei einem Blutfluss von 5 l/min und einem Begasungsverhältnis von 3:1 [21].

Integrated Maglev Pump-Oxygenator (IMPO)/Pediatric Pump-Lung (PediPL)/Wearable Artificial Pump-Lung (APL)

IMPO, PediPL und APL werden vom Artificial Organs Laboratory des Departments of Surgery der University of Maryland School of Medicine in Baltimore, MD, entwickelt. Alle Geräte kombinieren einen magnetisch levitierenden („maglev“) Pumpenkopf, der also sowohl magnetisch angetrieben als auch aktiv magnetisch „schwebend“ gelagert ist, mit einem Hohlfasermembranbündel zu einem Pump-Oxygenator (Abb. 4). Die Strömungsführung wurde mittels Computational Fluid Dynamics (CFD) numerisch untersucht [25].

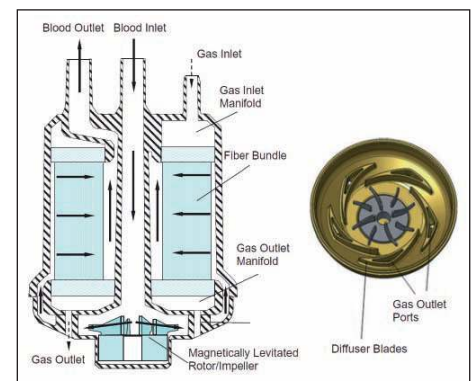


Abb. 4: Darstellung des IMPO (links) und des Diffusors (rechts) [24]

Alle drei Varianten wurden bereits in In-vivo-Versuchen am Schaf getestet. Am IMPO wurde mit einem Blutfluss von 5 l/min ein O₂-Austausch von 386 ml/min erreicht, die O₂-Sättigung lag bei 98,6 %. Das Design des IMPO wurde auf die PediPL für die pädiatrische Anwendung übertragen. Dabei wurde die Membranoberfläche von 1,05 m² auf 0,3 m² reduziert. Die Sauerstofftransfer rate lag für einen maximalen Blutfluss von 3 l/min bei 145 ml/min [22]. Die APL wurde in einem weiteren Schritt als tragbare Variante mit einer Membranoberfläche von 0,8 m² entwickelt. Ein maximaler O₂-Gas-

austausch der APL von 222,5 ml/min wurde bei einem Blutfluss von 3 l/min gemessen [23].

Parakorporale Oxygenatoren

Parakorporale Oxygenatoren sollen als Überbrückung bis zur Lungentransplantation (Bridge to Transplant) oder zur Unterstützung und Regeneration nach einer Lungentransplantation eingesetzt werden. Federspiel bezeichnete diese Systeme als die nächste Generation der extrakorporalen Lungenunterstützung [9]. Generell werden zwei Konfigurationen unterschieden, parallel und seriell, die im Folgenden kurz erläutert werden.

Bei der parallelen Konfiguration bildet der extrakorporale Kreislauf einen Kurzschluss (Shunt) zwischen Pulmonalarterie (PA) und linkem Atrium. Ein Teil des Bluts strömt aufgrund des hohen pulmonalen Widerstands durch die künstliche Lunge. Dabei stellt diese Konfiguration im Vergleich zur seriellen Konfiguration eine geringere Belastung für das rechte Herz dar [7]. Neben dem Gasaustausch hat die Lunge aber auch metabolische Funktionen [16], die durch den Shuntfluss über die künstliche Lunge in ihrer Wirkung reduziert werden. Ein weiterer Nachteil dieser Konfiguration ist, dass nur ein geringer Teil des Herzminutenvolumens über den künstlichen Kreislauf fließt, was bei einem kompletten Lungenversagen zu einer Hypoxie führt.

Die serielle Konfiguration schaltet die künstliche Lunge in Reihe mit der natürlichen Lunge, indem das Blut von der proximalen PA über den extrakorporalen Kreislauf zur distalen PA umgeleitet wird. Dabei wird die PA zwischen den beiden Anschlüssen durch ein Band abgeschnürt. Der Vorteil dieser Konfiguration liegt darin, dass 100 % des Herzminutenvolumens in der künstlichen Lunge mit O₂ angereichert werden und zudem durch die natürliche Lunge fließen, wodurch die metabolische Funktion der Lunge vollständig erhalten bleibt. Der Nachteil dieser Konfiguration liegt in der hohen Belastung des rechten Herzens aufgrund des zusätzlichen



Abb. 5: MC3 BioLung [2]



Abb. 6: Compliant Thoracic Artificial Lung (cTAL) [20]

Strömungswiderstands durch den künstlichen Kreislauf [7].

BioLung

MC3 Inc. arbeitet an einem parakorporalen Oxygenator, der als künstliche Lunge mit der natürlichen Lunge parallelgeschaltet werden kann, um diese teilweise zu ersetzen (Abb. 5). Die Firma steht in Kooperation mit Novalung (heute Xenios AG) [14] sowie mit dem Department of Biomedical Engineering and Surgery der University of Michigan, Ann Harbor, Michigan.

Blut strömt über einen zentralen Schlauch in den Oxygenator. Der Gasaustausch findet über ein Hohlfasermemb-

schnittlich bei 108 ml/min. Dabei flossen 51 % des Herzminutenvolumens, und damit 2 l/min, durch die BioLung [19].

Compliant Thoracic Artificial Lung (cTAL)

Schewe und Kollegen vom Department of Biomedical Engineering and Surgery der University of Michigan arbeiten an einem neuen Design der Thoracic Artificial Lung (TAL). Mit der Compliant Thoracic Artificial Lung (cTAL) wird die Compliance-Kammer in den Oxygenator integriert (Abb. 6). Das Gehäuse ist aus einem elastischen biokompatiblen Polyurethan (Biospan, DSM Polymer Technolo-

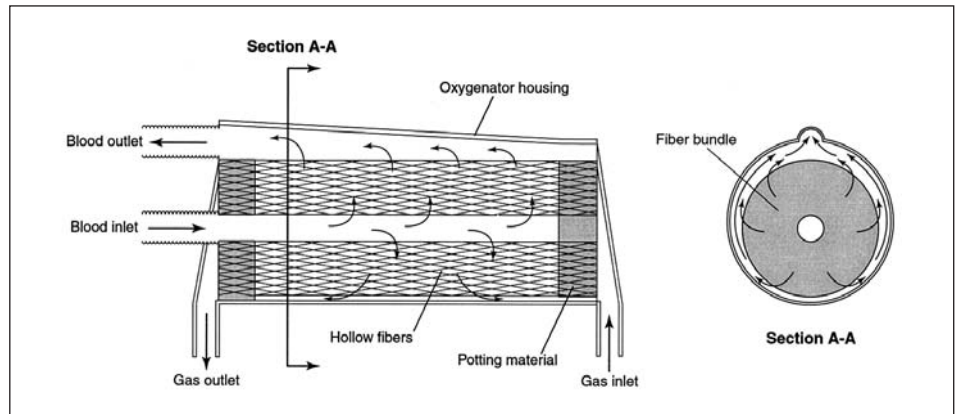


Abb. 7: Paracorporeal Artificial Lung (PAL) [17]

ranbündel statt. Die Membranoberfläche beträgt insgesamt 1,7 m². Das Blut fließt radial durch das zylindrische Faserbündel und tritt aus zwei symmetrisch angeordneten Auslässen an der Seite des Gehäuses aus [2].

Der BioLung ist eine Compliance-Kammer seriell vorgeschaltet, deren Aufgabe darin besteht, die natürliche Dehnbarkeit der Pulmonalarterie nachzustellen, um eine Störung der Funktion des rechten Ventrikels zu vermeiden [11]. Der O₂-Austausch über die BioLung lag in vivo am Schaf durch-

gy Group, Berkeley, CA, USA) hergestellt [12]. Die Membrangesamtoberfläche beträgt 1,71 m² [20].

Die cTAL wurde in vivo im Tiermodell Schwein getestet. Der O₂-Austausch lag bei 188 ml/min und der CO₂-Austausch bei 186 ml/min bei einem Blutfluss von 4 l/min und einem Begasungsverhältnis von 1:1. Beim maximalen Blutfluss von 5,3 l/min war die O₂-Sättigung ≤ 98 %. Der durch die cTAL verursachte Widerstand lag bei 0,51 mmHg/(l/min) [8].

Paracorporeal Artificial Lung (PAL)

Die Departments of Surgery and Anesthesiology der University of Texas Medical Branch haben in Zusammenarbeit mit der MC3 Corporation, Michigan, einen parakorporalen Oxygenator entwickelt, der in

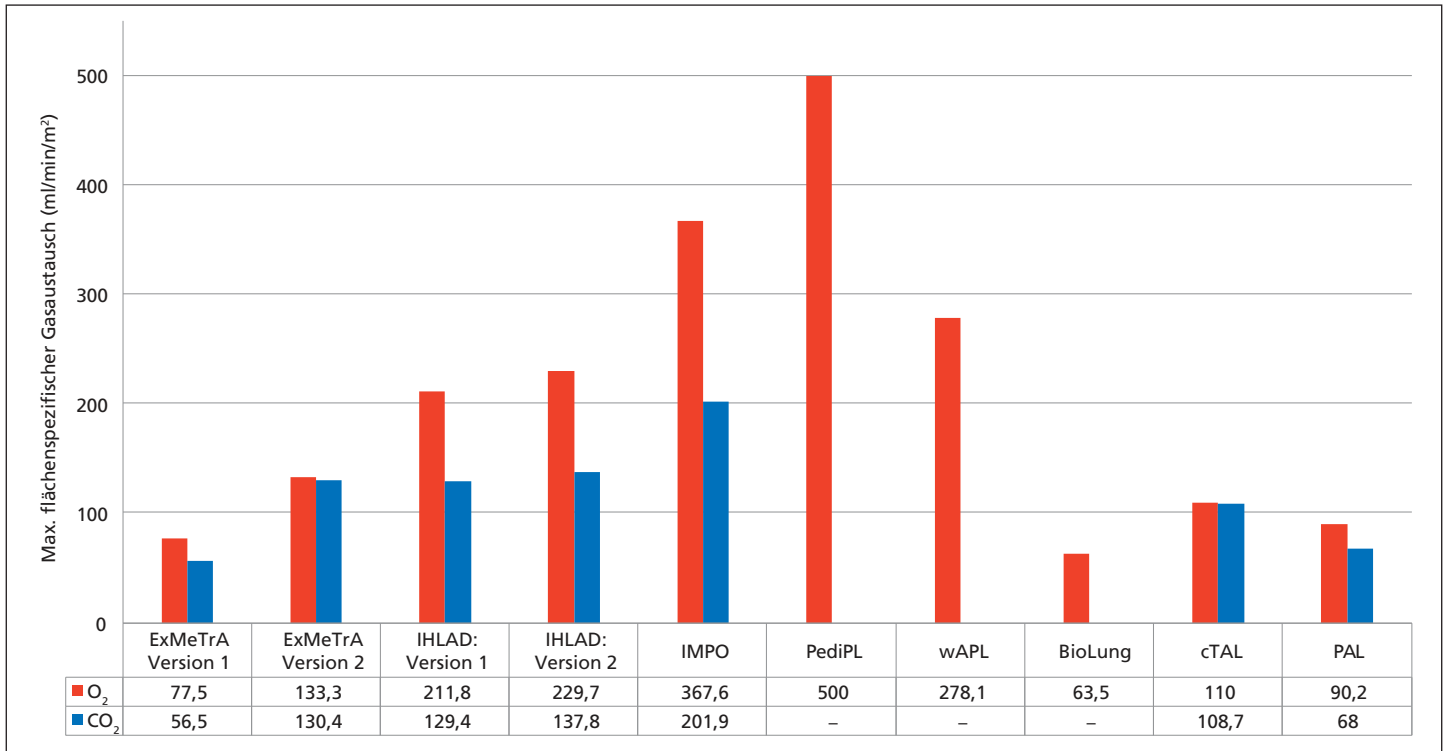


Abb. 8: max. flächenspezifischer Gasaustausch

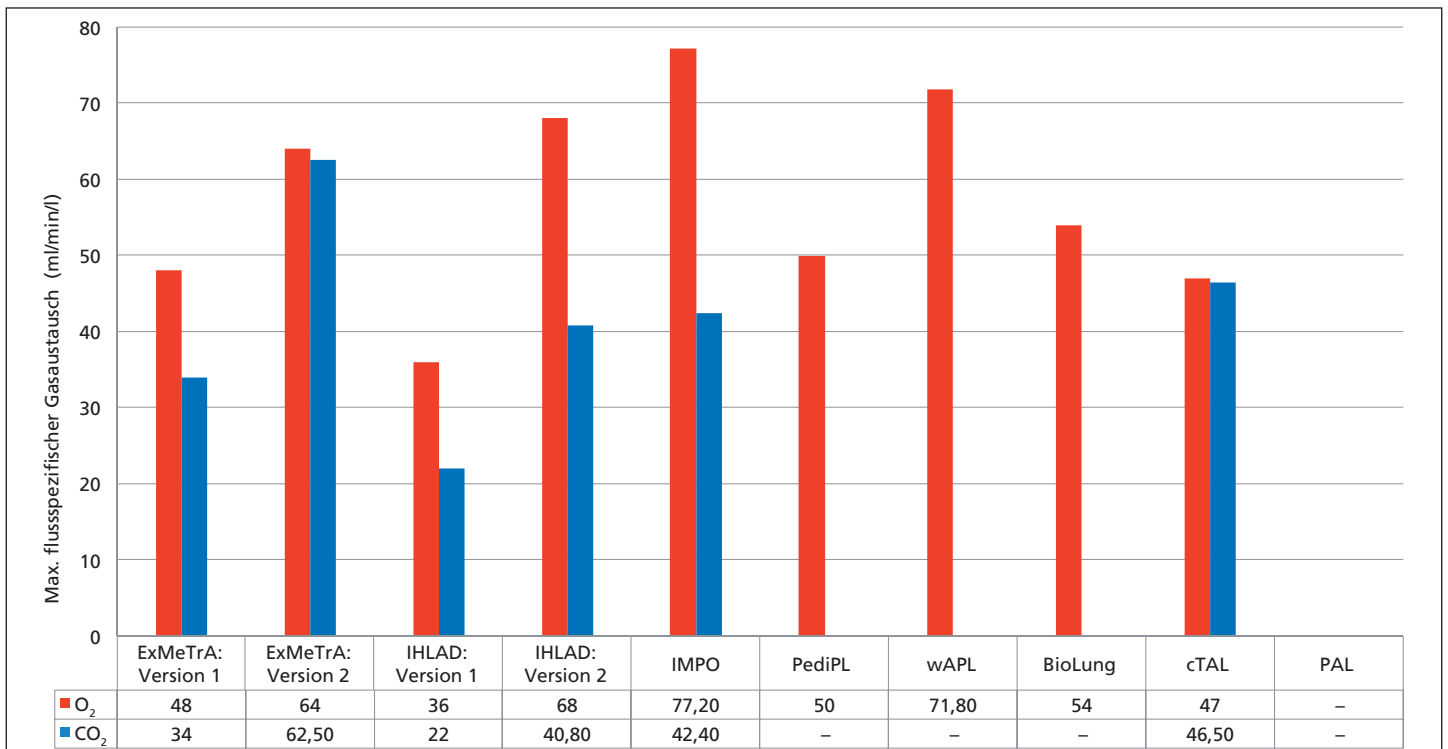


Abb. 9: max. flussspezifischer Gasaustausch

der seriellen Konfiguration betrieben wird (Abb. 7). Ziel der Entwicklung ist es, durch die PAL einen möglichst geringen Strömungswiderstand zu erzeugen, um die Belastung für das rechte Herz zu reduzieren. Das Blut fließt über den Einlass durch einen Kanal, der sich in der Mitte des zylindrischen Faserbündels befindet, und dann radial vorbei an den Fasern nach außen.

Die Compliance-Kammer besteht aus einer flexiblen Polyurethanmembran, die in

einem Acrylnitril-Butadien-Styrol-Gehäuse verbaut ist, das vor dem Bluteinlass der PAL platziert wurde. Über eine intra-arterielle Ballonpumpe, die über den femoral-arteriellen Druck getriggert wird, kann der Druck in der Compliance-Kammer angepasst werden. Um Rückfluss bei Deflation der Compliance-Kammer und während der Kontraktion des rechten Herzens zu verhindern, wurde hinter dem Blutausslass ein passives Ventil eingebaut. In der ersten In-vivo-Studie am Tier-

modell Schaf erlagen 50 % der Tiere einem Versagen des rechten Herzens [18].

Die aktive Ansteuerung der PAL steigerte den kardialen Durchfluss durch den extrakorporalen Kreislauf um 26 % ohne passives Ventil und um 43 % mit passivem Ventil am Auslass. Der Vorteil der aktiv steuerbaren Compliance-Kammer wird in der Variabilität des kardialen Durchflusses je nach Patientensituation gesehen. Ansatzpunkte für Verbesserungen sind momentan

eine gezieltere Steuerung der Compliance-Kammer sowie die Vermeidung von Blutungskomplikationen. Die Übertragung der Technik von Schaf auf Mensch wird ebenfalls als Herausforderung gesehen, da die PA beim Schaf mit einer Länge von 6 cm deutlich länger ist als die des Menschen mit einer Länge von 2,5–3 cm [3].

ERGEBNISSE

Abbildung 8 zeigt den maximalen flächen-spezifischen Gasaustausch ($\text{ml}_{\text{Gas}}/\text{min}/\text{m}^2$) der einzelnen Geräte im Vergleich. Diese Werte berechnen sich durch die Normierung des Gasaustauschs für Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid auf die Membranoberfläche des Oxygenators und spiegeln somit wider, wie effektiv die Membranoberfläche genutzt wird. Ein guter Gasaustausch bei gleichzeitig geringer Membranoberfläche ergibt einen hohen flächenspezifischen Gasaustausch.

Abbildung 9 zeigt den maximalen fluss-spezifischen Gasaustausch ($\text{ml}_{\text{Gas}}/\text{min}/l_{\text{Blut}}$) der Geräte im Vergleich. Dieser Wert wird durch Normierung des Gasaustauschs auf den Blutfluss berechnet. Hohe Werte deuten auf eine effektive Nutzung der Membran bei verhältnismäßig geringem Blutfluss hin.

ZUSAMMENFASSUNG

Heutige, in der Klinik verwendete Oxygenatoren basieren auf Hohlfasermembranen. Die beiden vorgestellten Gruppen „integrierte Komponenten“ und „parakorporale Oxygenatoren“ greifen diese Technik auf. Die Integration der Komponenten setzt auf eine abgestimmte Kombination aus Pumpe und Oxygenator. Parakorporale Oxygenatoren bilden eine Brücke zur Lungentransplantation oder unterstützen die bereits transplantierte Lunge und sind aufgrund ihres Aufbaus der nächste Schritt hin zu einer implantierbaren künstlichen Lunge. Für beide Ansätze ist aufgrund ihres fortgeschrittenen Entwicklungsstadiums zu erwarten, dass sie in den nächsten Jahren den Weg in die klinische Anwendung finden.

LITERATUR

- [1] Akagi H, Takano H, Taenaka Y, Nakatani T, Kinoshita M, Baba Y, Masuzawa T, Sakaki M, Matsuo Y, Inoue K et al: A centrifugal blood pump with a built-in oxygenator. *ASAIO Ab* 1992; 66
- [2] Akay B, Reoma JL, Camboni D, Pohlmann JR, Albert JM, Kawatra A, Gouch AD, Bartlett RH, Cook KE: In-parallel artificial lung attachment at high flows in normal and pulmonary hypertension models. *The Annals of thoracic surgery* 2010; 90(1): 259–265
- [3] Alpard SK, Wang D, Deyo DJ, Smolarz CM, Chambers S, Zwischenberger JB: Optional active compliance chamber performance in a pulmonary artery-pulmonary artery configured paracorporeal artificial lung. *Perfusion* 2007; 22(2): 81–86
- [4] Arlt M, Alois P, Voelkel S, Cambon D, Rupprecht L, Graf BM, Schmid C, Hilker M: Hand-held minimised extracorporeal membrane oxygenation: a new bridge to recovery in patients with out-of-centre cardiogenic shock. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery* 2011; 40(3): 689–694
- [5] Borchardt R, Schlanstein P, Mager I, Arens J, Schmitz-Rode T, Steinseifer U: In vitro performance testing of a pediatric oxygenator with an integrated pulsatile pump. *ASAIO J* 2012; 58(4): 420–425
- [6] Born F, Ammann U, Künzli A, Bühlmann M, Ebnetter D, Loretan S, Burren T, Albrecht R: Transatlantikflug mit der transportablen Herz-Lungen-Maschine „Life Box“. *Kardiotechnik* 2010; 19 (3): 65–69
- [7] Boschetti F, Perlman CE, Cook KE, Mockros LF: Hemodynamic effects of attachment modes and device design of a thoracic artificial lung. *ASAIO J* 2000; 46(1): 42–48
- [8] Cook KE, Perlman CE, Seipelt R, Backer CL, Mavroudis C, Mockrost LF: Hemodynamic and gas transfer properties of a compliant thoracic artificial lung. *ASAIO J* 2005; 51(4): 404–411
- [9] Federspiel WJ, Henchir KA: Lung, Artificial: Basic Principles and Current Applications. 12 Feb 2013; doi: 10.1081/E-EBBE-120007349
- [10] Fukui Y, Kawamura T, Higami T, Funakubo A, Sakuma I: Development of an all-in-one percutaneous cardiopulmonary support system, 1993; 17(5): 313–317
- [11] Haft JW, Bull JL, Rose R, Katsra J, Groberg JB: Design of an artificial lung compliance chamber for pulmonary replacement. *ASAIO J* 2003; 49: 35–40
- [12] http://www.dsm.com/en_US/medical/public/home/pages/product-pu-biospan-spu.jsp (06.05.2013)
- [13] <http://www.maquet-cardiohelp.com/> (24.04.2013)
- [14] <http://www.mc3corp.com/portfolio/biolung%20AE/> (12.09.2014)
- [15] <http://www.perfusion.cl/portal/images/stories/ecmo%20compacto.jpg> (12.09.2014)
- [16] Jenkinson SG: Metabolic functions of the lungs. 1989
- [17] Lick SD, Zwischenberger JB, Wang D, Deyo DJ, K Alpard SK, Chambers SD: Improved right heart function with a compliant in-flow artificial lung in series with the pulmonary circulation. *The Annals of thoracic surgery* 2001; 72(3): 899–904
- [18] Lick SD, Zwischenberger JB, Alpard SK, Witt SA, Deyo DM, Merz SI: Development of

- an ambulatory artificial lung in an ovine survival model. *ASAIO J* 2001; 47: 486–491
- [19] Sato H, Hall CM, Lafayette NG, Pohlmann JR, Padiyar N, Toomasian JM, Haft JW, Cook KE: Thirty-day in-parallel artificial lung testing in sheep. *The Annals of thoracic surgery* 2007; 84(4): 1136–1143
- [20] Schewe RE, Scipione CN, Koch KL, Cook KW: In-parallel attachment of a low-resistance compliant thoracic artificial lung under rest and simulated exercise. *The Annals of Thoracic Surgery* 2012; 94(5): 1688–1694
- [21] Tsukiya T, Tatsumi E, Nishinaka T, Katagiri N, Takewa Y, Ohnishi H, Oshikawa M, Shioya K, Mizuno T, Taenaka Y, Takano H, Kitamura S: Design progress of the ultracompact integrated heart lung assist device—part 1: effect of vaned diffusers on gas-transfer performances. *Artif Organs Oct* 2003; 27(10): 907–913
- [22] Wu ZJ, Gellman B, Zhang T, Taskin ME, Dasse KA, Griffith BP: Computational fluid dynamics and experimental characterization of the pediatric pump-lung. *Cardiovascular Engineering and Technology. Dec* 2011; 2(4): 276–287
- [23] Wu ZJ, Zhang TG, Bianchi G, Wei X, Son HS, Zhou K, Sanchez PG, Garcia J, Griffith BP: Thirty-day in-vivo performance of a wearable artificial pump-lung for ambulatory respiratory support. *The Annals of thoracic surgery* 2011; 93(1): 274–281
- [24] Zhang J, Taskin ME, Koert A, Zhang T, Gellman B, Dasse KA, Gilbert R, Bartley P, Griffith BP, Wu ZJ: Computational design and in vitro characterization of an integrated Maglev pump-oxygenator. *Artif Organs Jul* 2009; 33(10): 805–817
- [25] Zhang L, Chen D, Wang K, Yu F, Huang Z, Pan S: Blood compatibility improvement of titanium oxide film modified by doping La(2) O(3). *J Mater Sci Mater Med Oct* 2009; 20(10): 2019–2023

INTERESSENKONFLIKT

ExMeTrA ist ein internes Forschungsprojekt. Ansonsten haben die Autoren keine finanziellen Interessen oder Beziehungen, die zu Interessenkonflikten führen könnten.

Andreas Kaesler
Lehr- und Forschungsgebiet Kardio-
vaskuläre Technik
Institut für Angewandte Medizintechnik
RWTH Aachen University
Pauwelsstr. 20
52074 Aachen
kaesler@hia.rwth-aachen.de
www.cardiovascular-engineering.com

Der leistungsstarke hilite® Oxygenator mit integriertem arteriellem Filter und heparinfreier x.eed Beschichtung

A Xenios company

medos®

cardiopulmonary solutions



hilite® AF 7000

Der speziell designte und vollständig in das Oxygenatorgehäuse integrierte arterielle Filter hält Mikropartikel effektiv zurück und bietet somit zusätzliche Sicherheit während der kompletten Dauer der extrakorporalen Perfusion.

Ein neuartiges, speziell bei medos® entwickeltes Verarbeitungsverfahren sichert darüber hinaus eine weitere Effizienzsteigerung der verwendeten Hohlfasermembran. Damit bietet der hilite® AF 7000 optimierte Gasauscher-Eigenschaften ohne nachteilig vergrößerte Fremdoberfläche.

Ideal: Die Fremdoberfläche ist so groß wie nötig – aber so gering wie möglich.

hilite® AF 7000 auf einen Blick:

- Vollständig integrierter arterieller Filter – mehr Sicherheit
- Integrierte venöse Blasenfalle – effiziente Lufteliminierung
- Neues Verarbeitungsverfahren der Gas – und Wärmetauschermembran
- Uneingeschränkte Gehäusetransparenz – maximale Kontrolle
- **NEU** Heparinfreie x.eed Beschichtung

www.medos-ag.com



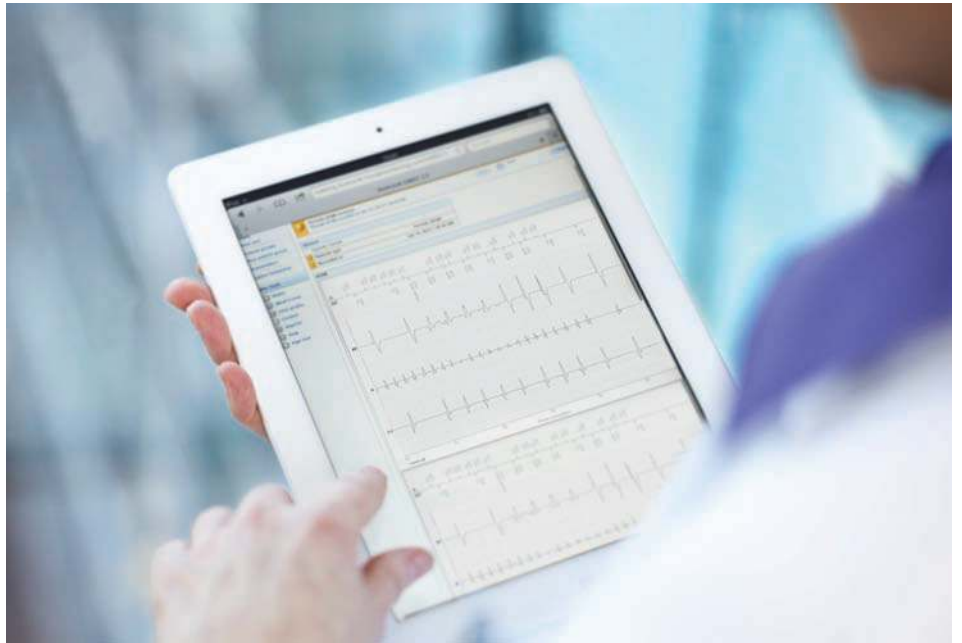
Neues aus der Industrie

BIOTRONIK HOME MONITORING – AUCH EINE ÖKONOMISCHE BETRACHTUNG

Die Ergebnisse der von BIOTRONIK gesponserten EuroEco Studie (European Health Economic Trial on Home Monitoring in ICD Therapy) wurden im September von dem leitenden Prüfarzt Prof. Dr. Hein Heidbuchel, Herzzentrum Hasselt, Belgien, im Rahmen einer Hot Line Session auf dem ESC Kongress 2014 vorgestellt. EuroEco ist die erste randomisierte kontrollierte Studie zur Abschätzung der finanziellen Auswirkung einer telemedizinischen Fernnachsorge von Herzpatienten aus Sicht der Krankenhäuser. Sie hat gezeigt, dass Krankenhäusern durch den Einsatz des BIOTRONIK Home Monitoring keine zusätzlichen Kosten entstanden und Krankenkassen bzw. nationale Gesundheitssysteme im Vergleich zur Präsenznachsorge sogar einen Trend zur Kostenreduktion verzeichnen konnten. Darüber hinaus sparten Ärzte bei einer home-monitoring-gestützten Patientennachsorge Zeit.

Es zeigte sich, dass sowohl Patienten als auch Ärzte eindeutig eine telemedizinische Fernnachsorge der Präsenznachsorge vorziehen. Die telemedizinische Nachsorge trägt nachweislich zu einer Verbesserung der Patientengesundheit bei und richtet den Fokus der Ärzte auf diejenigen Patienten, die Hilfe am dringendsten benötigen. Eine Reduktion der Präsenznachsorge setzt wiederum Ressourcen frei, so dass sich Ärzte zeitnah um die Patienten kümmern können, die tatsächlich ärztlicher Betreuung bedürfen. Die EuroEco-Ergebnisse unterstreichen zudem, dass eine home-monitoring-gestützte Nachsorge von Herzpatienten auch aus ökonomischer Sicht sinnvoll ist. Denn die Zukunft der Medizin bedarf einer Behandlung von Patienten auf die effizienteste Art und Weise bei gleichzeitiger Beibehaltung eines hohen Qualitätsstandards.

Primärer Endpunkt der randomisierten, prospektiven, multizentrischen Studie waren die durch Home Monitoring entstandenen Servicekosten der Krankenhäuser. Zu den sekundären Endpunkten zählten das Nettoeinkommen der Krankenhäuser und die Kosten der Krankenkassen. Es wurden insgesamt 312 Patienten mit Einkammer- und Zweikammer-ICDs (implantierbare Kardioverter-Defibrillatoren) aus 17 Zentren in Belgien, Deutschland, den



BIOTRONIK Home Monitoring hilft Herzpatienten und verursacht keine zusätzlichen Kosten

Niederlanden, Spanien und Großbritannien in die Studie aufgenommen. Im Rahmen einer Studierweiterung wird aktuell eine Patientengruppe mit Implantaten zur kardialen Resynchronisationstherapie (CRT) rekrutiert.

Über einen Beobachtungszeitraum von 2 Jahren bestand im Hinblick auf die gesamten Nachsorgekosten der Krankenhäuser kein signifikanter Unterschied zwischen der Home-Monitoring-Gruppe (204 € pro Patient) und der Kontrollgruppe (213 € pro Patient). Auch bezüglich des Nettoeinkommens der Krankenhäuser wurde kein statistisch signifikanter Unterschied verzeichnet, wobei die Ergebnisse sich je nach Land anders darstellten.

Bei den Krankenkassen bzw. nationalen Gesundheitssystemen wurde jedoch ein Trend zu einer Kostenreduktion in der Home-Monitoring-Gruppe beobachtet (4.881 € vs. 4.307 € in der Home-Monitoring-Gruppe). Dies gilt auch unter Berücksichtigung anderer Arztbesuche, Untersuchungen, Krankenhauseinweisungen und weiterer mit der Nachsorge verbundener Kosten. Sogar in Ländern wie Deutschland und Großbritannien, in denen Krankenhäusern die Kosten für die home-monitoring-gestützte Nachsorge erstattet werden, wurde kein Kostenanstieg beobachtet. Die Ergebnisse zeigen einen Finanzierungsspielraum auf, die Fernnachsorge und die Telemonitoring-Technologie als solche angemessen zu vergüten. Die niedrigeren

Kosten ergeben sich insbesondere durch weniger und kürzere Krankenhausaufenthalte, wie bereits frühere Studien gezeigt haben.

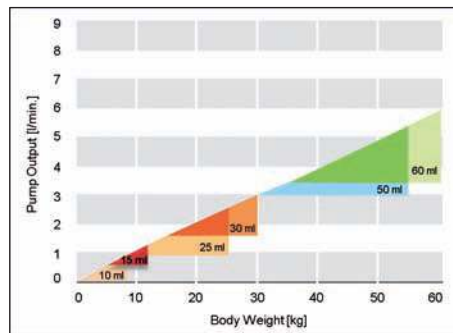
Ärzte verbrachten signifikant weniger Zeit mit Home-Monitoring-Patienten als mit Patienten der Kontrollgruppe (64 Minuten [SD = 53,36] vs. 73 Minuten [SD = 52,40]; $p = 0,028$). Im Hinblick auf die Zeit, die das Pflegepersonal aufwandte, gab es keine signifikanten Unterschiede. Über einen Zeitraum von 2 Jahren verbrachten Ärzte und Pflegepersonal durchschnittlich 3 Stunden pro Patient, unabhängig davon, ob diese eine home-monitoring-gestützte Nachsorge erhielten oder ausschließlich eine konventionelle Präsenznachsorge.

Wünschenswertes Ergebnis dieser Studie kann sein, dass Angesichts der geringeren Kosten von Home Monitoring für die Krankenkassen und nationalen Gesundheitssysteme sowohl Ärzte angemessen für eine home-monitoring-gestützte Nachsorge vergütet werden als auch die Technologie selbst. Die EuroEco-Studie könnte somit zu einer Umstrukturierung der Nachsorge beitragen, die eine Win-Win-Situation für alle Beteiligten darstellt – für Krankenkassen, Krankenhäuser und letztendlich für die Patienten. Dank der hervorragenden klinischen Ergebnisse früherer Studien sowie der Empfehlung der European Society of Cardiology gibt es aussagekräftige Belege, die für eine home-monitoring-gestützte Nachsorge sprechen.

Mit neuem Antrieb zur mobilen Herzunterstützung können Kinder nach Hause entlassen werden

Ein neuer Antrieb zur mobilen Herzunterstützung für Kinder und Jugendliche unter 16 Jahren soll die Behandlung von schwer herzkranken jungen Patienten revolutionieren. Dr. Eugen Sandica, Direktor der Klinik für Kinderherzchirurgie und angeborene Herzfehler im Herz- und Diabeteszentrum NRW (HDZ NRW), Bad Oeynhausen, wird das mit einem neuen Antrieb versehene Unterstützungssystem EXCOR® Pediatric (Berlin Heart, Berlin) noch in diesem Jahr weltweit erstmals einsetzen. Damit können Kinder ihre mitunter monate- oder jahrelange Wartezeit auf ein Spenderherz dort verbringen, wo sie sich am wohlsten fühlen: zu Hause bei ihrer Familie und ihren Angehörigen. Wenn ein Spenderherz nicht zeitnah zur Verfügung steht, werden mechanische Kreislaufunterstützungssysteme eingesetzt, um die Wartezeit auf die Organspende zu überbrücken. Das EXCOR Pediatric System ist das einzige zugelassene System weltweit, mit dem Kinder behandelt werden können. Das System ist ab einer Pumpleistung von 10–15 ml einsetzbar.

Im größten Herztransplantationszentrum Deutschlands, in Bad Oeynhausen, sind die Erfahrungen mit künstlichen Herzpumpen (VAD, ventricular assist device) bei Kindern und Jugendlichen besonders gut: 29 dieser EXCOR Pediatric Systeme hat das Team bereits bei Kindern im Alter



EXCOR Pediatric 15 ml Pump

von 0–16 Jahren implantiert, die mittlere Unterstützungszeit beträgt 120 Tage, die längste Unterstützungszeit lag bei 619 Tagen. Fast alle Kinder konnten erfolgreich transplantiert werden. Die Bad Oeynhausener Überlebensrate liegt bei 90 Prozent bei den eingesetzten Berlin-Heart-Kinderherzpumpen. Damit gehört das Klinikum in Bad Oeynhausen zu den weltweit erfolgreichsten Therapiezentren.

Der Nachteil: 150 kg wiegt der derzeit einzige Antrieb der künstlichen Herzunterstützung, der durch eine Kabelverbindung mit der Pumpe des kleinen Patienten verbunden ist. Die große Konsole muss zudem regelmäßig gewartet werden, das macht ein Verlassen der Klinik nahezu unmöglich. Dazu ist der Anschluss ans Stromnetz lebenswichtig: Etwa 30 Minuten kommt das System ohne Strom aus, wenn danach kei-

ne Steckdose in der Nähe ist, schrillt der Alarm.

Jetzt stellt der deutsche Hersteller Berlin Heart GmbH (Berlin) erstmals weltweit einen Antrieb zur Verfügung, der nur noch 11 kg wiegt und in der Größe eines Koffertrolleys mitgeführt werden kann. Dazu kommt das Unterstützungssystem dank mitgeführter Akkus bis zu 12 Stunden ohne Netzanschluss aus. Die CE-Zulassung für den europäischen Einsatz der neuen Kinderherzpumpe, die den Namen EXCOR Active trägt wird zum kommenden Jahreswechsel erwartet. Danach soll das Herzunterstützungssystem im HDZ-Kinderherzzentrum in Bad Oeynhausen in den klinischen Einsatz gehen.

Heute wird für viele Kinder die Klinik während der Wartezeit notgedrungen zu einem zweiten Zuhause. Mittelfristig können nun – wie dies bei Erwachsenen nach entsprechender Schulung schon lange möglich ist – eine zunehmende Zahl an kleinen Patienten ambulant versorgt werden. Auch eine Unterbringung im RonaldMcDonald Elternhaus sei denkbar – vielleicht sogar auch, in absehbarer Zeit, der ganz normale Schulbesuch für ältere Kinder. Das ist ein Riesenschritt zu mehr Lebensqualität für alle Beteiligten.

Bad Oeynhausen, Juni 2014

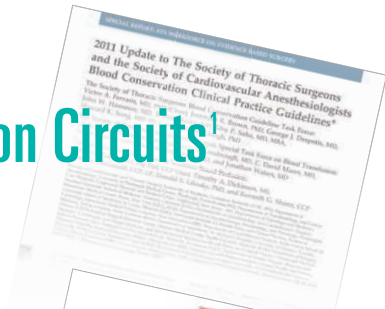


When Your Perfusion Team is Focused on



...Use the Evidence to Point the Way

Right Size Your Perfusion Circuits¹



Improve Patient Outcomes³



Reduce Hemodilution & Blood Transfusions²



Decrease Hospital Costs⁴



References

1. Ferraris, V., et al. (2011). 2011 Update to The Society of Thoracic Surgeons and the Society of Cardiovascular Anesthesiologists Blood Conservation Clinical Practice Guidelines.
2. Baker, R., et al. (2013). American Society of ExtraCorporeal Technology Standards and Guidelines For Perfusion Practice.
3. Lahanas, T., et al. (2013). A retrospective comparison of blood transfusion requirements during cardiopulmonary bypass with two different small adult oxygenators. *Perfusion*. July 2013, 28 (4).
4. Bronson, S., et al. Prescriptive Patient Extracorporeal Circuit and Oxygenator Sizing Reduces Hemodilution and Allogeneic Blood Product Transfusion during Adult Cardiac Surgery. *JECT*. 2013;45:167-72.

Wenn jede Sekunde zählt

Spezialisten des Universitätsklinikums Regensburg (UKR) realisieren ein neuartiges Reanimationsfahrzeug: Im Rahmen von Notarzteinsätzen soll damit die Überlebensrate bei plötzlichem Herz-Kreislauf-Stillstand verbessert werden können.

Jährlich erleiden in Deutschland ca. 150.000 Menschen einen plötzlichen Herz-Kreislauf-Stillstand. Statistisch überleben 3 bis 8 von 100 Betroffenen. Ursächlich für diese geringen Überlebensraten sind zum einen die Dauer, bis Wiederbelebungsmaßnahmen ergriffen werden, und zum anderen deren Qualität bzw. Kontinuität. Dem interdisziplinären ECMO-Zentrum des UKR ist es unter Federführung der Klinik für Anästhesiologie und in Kooperation mit dem Rettungszentrum Regensburg sowie den Unternehmen Audi und Sorin gelungen, ein neuartiges Reanimationseinsatzfahrzeug einzurichten, mit dem betroffene Patienten schneller und besser behandelt werden können. Das Fahrzeug ist mit einer transportablen Herz-Lungen-Maschine (ECMO) ausgestattet und wird von einem Spezialistenteam, bestehend aus Anästhesist und Kardiotechniker, betreut.

Die ECMO kann unmittelbar am Einsatzort am Patienten angeschlossen werden. Damit lässt sich eine umgehende und ausreichende Sicherstellung der Herz-Kreislauf-Funktion und der Sauerstoffversorgung des Körpers erzielen. Der Patient kann unter stabilen Bedingungen transportiert und weiterversorgt werden. Zusätzliche mechanische Reanimationsmaßnahmen während des Transportes werden unnötig. Durch den frühzeitigen Einsatz der ECMO-Therapie erhoffen sich die Regensburger Spezialisten, die Überlebensrate beim plötzlichen Herzstillstand steigern zu können.

Daneben löst das Reanimationsfahrzeug ein weiteres Problem, denn vor allem der Patiententransport birgt bei Notarzteinsätzen ein gewisses Risikopotenzial. Die Wiederbelebungsmaßnahmen können dabei oft nicht ohne Unterbrechung erfolgen. Pausen ergeben sich beispielsweise beim Umlagern auf die Notfallliege oder beim Ein- und Ausladen des Patienten im Rettungsfahrzeug. Nach aktuellem Stand der Wissenschaft sind vor allem diese Pausen für die Gesamtprognose der Patienten entscheidend. Mit der extrakorporalen Herz-Kreislauf-Unterstützung kann der Patient unter fortwährenden Wiederbelebungsmaßnahmen transportiert werden.



UKR-Reanimationsmobil: Mithilfe des neuartigen Reanimationseinsatzfahrzeugs sollen die Überlebensraten bei plötzlichem Herz-Kreislauf-Stillstand gesteigert werden können

Weil dadurch die Sauerstoffversorgung des Gehirns nicht unterbrochen wird, können neurologische Folgeschäden reduziert werden.

Am 26. September 2014 wurde das Reanimationseinsatzfahrzeug in Anwesenheit von dessen Schirmherren, Regensburgs Oberbürgermeister Joachim Wolbergs und Tanja Schweiger, Landrätin des Landkreises Regensburg, offiziell vorgestellt.

Das Reanimationsmobil steht für Stadt und Landkreis Regensburg zur Verfügung und kann bei Fällen von plötzlichem Herz-Kreislauf-Stillstand durch die Rettungsleitstelle parallel zum Notarzt alarmiert und an die Einsatzstelle geschickt werden, was wiederum wertvolle Zeit spart.

Auch wenn das Reanimationseinsatzfahrzeug schnelle Hilfe bei Herz-Kreislauf-Stillstand verspricht, können Schädigungen des Patienten nicht vermieden werden, die aufgrund von verzögerten Wiederbelebungsmaßnahmen entstanden sind. Der entscheidende Schritt bei einem Herzstillstand ist daher immer, sofort mit der Wiederbelebung zu beginnen.

Das ECMO-Verfahren wird bereits erfolgreich in der modernen Intensiv- und Notfallmedizin eingesetzt. Durch die ECMO wird die Herz-Lungen-Funktion außerhalb des Körpers unterstützt. Über ein Schlauchsystem wird das sauerstoffarme Blut des Patienten in eine künstliche Lunge außerhalb des Körpers abgeführt, wo es mit Sauerstoff angereichert und Kohlendioxid entfernt wird. Anschließend wird das Blut

dem Körper mittels einer Pumpe über das Schlauchsystem wieder zugeführt.

Durch intensive Forschung und jahrelange klinische Erfahrung konnten die Regensburger ECMO-Spezialisten bereits einige Innovationen im Bereich der Intensivmedizin international etablieren. So gelang es ihnen 2012 im Rahmen eines Notarzteinsatzes weltweit erstmals, ein Leben mittels einer tragbaren Mini-Herz-Lungen-Maschine zu retten. Das ECMO-Zentrum des UKR hat dadurch eine Vorreiterrolle in der Miniaturisierung der mobilen HLM für den Transport schwerstkranker Patienten und wurde für seine besonderen Leistungen erst kürzlich international mit dem ELSO Award for Excellence in Life Support 2014 ausgezeichnet.

Regensburg, September 2014

Biologische Herzklappe der Zukunft

Seit über 15 Jahren beschäftigen sich Herzchirurgen um Professor Dr. Axel Haverich, Leiter der Klinik für Herz-, Thorax-, Transplantations- und Gefäßchirurgie der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), mit einem neuen Verfahren für den biologischen Herzklappenersatz. Es soll die Nachteile bisheriger Methoden vermeiden und besonders für Menschen mit angeborenen Herzfehlern geeignet sein, bei denen bisher häufige Re-Operationen erforderlich waren.

Menschliche Spenderklappen werden dabei in einem besonderen Verfahren (tissue engineering) so verändert, dass nur noch das Stützgewebe erhalten bleibt, sie werden dezellularisiert. Nach Implantation erfolgt dann im Körper die Wiederbesiedlung mit patienteneigenen Körperzel-

len, die eine Integration und Regeneration der operierten Herzklappe ermöglicht und Abstoßungsreaktionen verhindert. Mittlerweile wurden bereits 100 Patienten mit diesem Verfahren behandelt und die Lungenschlagaderklappe (Pulmonalklappe) bei ihnen ersetzt.

Unter Leitung der MHH findet hierzu eine europaweite klinische Studie statt – die ESPOIR-Studie (European clinical study for the application of regenerative heart valves – <http://www.espoir-clinicaltrial.eu/>). Ziel ist es, an acht großen europäischen Zentren für angeborene Herzfehler diese neuartigen Herzklappen im Langzeitverlauf zu untersuchen. Die EU unterstützt das Vorhaben mit 5,2 Millionen Euro für vier Jahre.

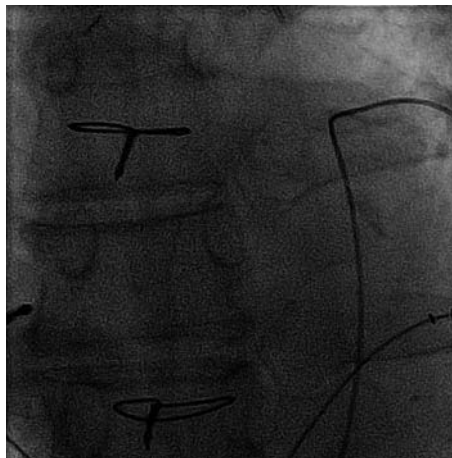
Innerhalb der ESPOIR-Studie wurden jetzt die beiden ersten Patienten erfolgreich an der MHH operiert: Einer 56-jährigen Patientin wurde 51 Jahre nach ihrer ersten Herzoperation die jetzt defekte eigene Pulmonalklappe durch eine dezellularisierte Spenderklappe ersetzt. Bei einem sieben Jahre alten Jungen erfolgte der gleiche Eingriff, bei ihm war es nach Korrektur eines angeborenen Herzfehlers sehr früh zu einer Vergrößerung der rechten Herzkammer durch eine undichte Lungenschlagaderklappe gekommen. Nach der jetzt erfolgten Operation besteht die begründete Hoffnung, dass es die letzte Herzoperation für die beiden war.

Hannover, September 2014

UKSH-Team implantiert 4-Elektroden-Defibrillator

Als erste Klinik in Deutschland und als eine der ersten Kliniken weltweit wurde in der Abteilung Elektrophysiologie und Rhythmologie der Klinik für Innere Medizin III des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein (UKSH), Campus Kiel, ein neuartiges Stimulationssystem implantiert, welches sowohl den Patienten vor einem plötzlichen Herztod schützt als auch durch eine höchst innovative 4-Elektroden-Stimulationsform die Herzleistung mit jedem Herzschlag unterstützt und verbessert.

Gemeinsam mit seinem Team – den zertifizierten elektrophysiologischen Spezialpflegern Christian Wulff und Jan Reeger – implantierte Prof. Dr. Hendrik Bonnemeier, Leitender Oberarzt und stellv. Klinikdirektor, das komplexe Herzschrittmachersystem einem Patienten mit Herzrhythmusstörungen und einer schweren Herzschwäche. Die Prozedur dauerte nur etwa 45 Minuten – der Patient war während der Operation wach und ansprechbar. Dies entspricht im UKSH Kiel in etwa auch der Eingriffsdauer für die Implantation eines 3-Elektroden-Systems, was jedoch stark von der Routine des operierenden Teams abhängig ist. Der Eingriff gelang trotz minimalstem Einsatz von Röntgenstrahlen und wurde in einem der modernsten und größten elektrophysiologischen Operationssäle in Nord-



Das neuartige 4-Elektroden-Stimulationssystem unter Röntgenansicht

deutschland am UKSH in Kiel vorgenommen. Zum Schutz der Operateure wird bei der Implantation routinemäßig eine besondere Strahlenschutzkabine verwendet.

In Kiel wird seit mehr als vier Jahren eine besonders patientenschonende und prozessoptimierte Methode zur Implantation von komplexen Herzschrittmachersystemen verwendet, welche unter anderem nur eine örtliche Betäubung und eine für den Patienten und das Operationsteam bislang in anderen Zentren unerreichte Minimierung der Röntgenexposition vorsieht. Bonnemeiers Team ist mit jährlich mehr als

350 Operationen allein auf dem Gebiet der speziellen 3-Elektroden-Systeme eines der weltweit erfahrensten und genießt internationale Anerkennung.

Bei dem 4-Elektroden-Defibrillator werden 1 Elektrode im Vorhof, 1 Elektrode in der rechten Herzkammer und 2 Elektroden in der linken Herzkammer platziert. Dies ist für so genannte Non-Responder von Bedeutung. Hier ist die linke Herzkammer sehr groß und wäre damit über nur eine Elektrode – wie bei einem 3-Elektroden-Defibrillator – unterversorgt.

Kiel, Juli 2014

Regensburger ECMO-Zentrum ausgezeichnet: deutschlandweit einmalig, weltweit unter den besten

Das ECMO-Zentrum des Universitätsklinikums Regensburg (UKR) wird als einziges Zentrum Deutschlands durch die internationale Extracorporeal Life Support Organization (ELSO) mit dem ELSO Award for Excellence in Life Support 2014 ausgezeichnet. In ganz Europa gibt es nur vier weitere Zentren mit dieser Auszeichnung. Weltweit sind ca. 300 Kliniken Mitglieder der ELSO.

Das Universitätsklinikum Regensburg leistet seit knapp 20 Jahren Pionierarbeit im Einsatz der extrakorporalen Herz-Lungen-Unterstützung, auch extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) genannt. Das Engagement der Regensburger Experten, vereint im ECMO-Zentrum des UKR, wird nun mit dem ELSO Award for Excellence in Life Support gewürdigt. PD Dr. Thomas Müller, Leiter der Intensivstation in der Klinik und Poliklinik für Innere Medizin II, nahm die Auszeichnung stellvertretend für das UKR am 17. September 2014 in Ann Arbor, Michigan (USA), entgegen.

Durch intensive Forschung und jahrelange klinische Erfahrung konnten die Regensburger ECMO-Spezialisten bereits einige Innovationen im Bereich der Intensivmedizin international etablieren. So gelang es ihnen im Rahmen eines Notarzteinsatzes weltweit erstmals erfolgreich, ein Leben mittels einer tragbaren Mini-Herz-Lungen-Maschine zu retten. Das ECMO-Zentrum des UKR hat dadurch insbesondere eine Vorreiterrolle in der Miniaturisierung der mobilen Herz-Lungen-Maschine (HLM) für den Transport schwerstkranker Patienten – nach Ansicht vieler Experten eine der wichtigsten Innovationen der modernen Intensivmedizin.

Was die ECMO-Therapie bedeutet, veranschaulicht die Geschichte von Stefan, 26 Jahre. Stefan wird nach einem Motorradunfall mit multiplen Knochenbrüchen und schwersten Verletzungen des Brustraums ins Krankenhaus eingeliefert. Nach der operativen Versorgung versagt seine Lunge trotz künstlicher Beatmung und Einsatz aller konventionellen Möglichkeiten. Der Kreislauf kann nicht mehr stabilisiert werden. Um Stefan zu retten, muss er an eine HLM angeschlossen werden. Während der ECMO-Therapie wird über ein

Schlauchsystem das sauerstoffarme Blut des Patienten in eine künstliche Lunge außerhalb des Körpers abgeführt, wo es mit Sauerstoff angereichert und Kohlendioxid entfernt wird. Anschließend wird das Blut dem Körper mittels einer Pumpe über das Schlauchsystem wieder zugeführt. Je nachdem, wie die Maschine im Körper angeschlossen wird, kann somit gezielt die Lunge oder das Herz unterstützt werden.



Extrakorporale Herz-Lungen-Unterstützung eines Patienten

Angeboten werden kann ECMO nur in hochspezialisierten Kliniken, da bei der Therapie verschiedene Fachbereiche eng zusammenarbeiten müssen. Im Universitätsklinikum Regensburg sind das neben der Kardiotechnik (Leiter: Alois Philipp), die Klinik und Poliklinik für Innere Medizin II (Direktor: Prof. Dr. Lars Maier), die Klinik für Anästhesiologie (Direktor: Prof. Dr. Bernhard Graf), die Klinik und Poliklinik für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie (Direktor: Prof. Dr. Christof Schmid) sowie die Klinik und Poliklinik für Kinder- und Jugendmedizin (Direktor: Prof. Dr. Michael Melter).

Neben akutem Lungenversagen durch Verletzungen oder Erkrankungen wie Pneumonie oder Sepsis wird die extrakorporale HLM auch bei Herzkrankheiten oder während Herzoperationen eingesetzt.

Pro Jahr werden im ECMO-Zentrum des UKR durchschnittlich 140 bis 150 Patienten aller Altersgruppen mit extrakorporaler Unterstützung behandelt. 60 Prozent davon aufgrund akuten Lungenversagens, 40 Prozent aufgrund Herzversagens.

Viele der betroffenen Patienten werden durch das ECMO-Team des UKR bereits in externen Kliniken an die mobile HLM angeschlossen, um sicher in das UKR transportiert werden zu können.

Durch die ECMO-Therapie überleben 60 bis 70 Prozent der Lungenpatienten, bei den Herzpatienten sind es bis zu 40 Prozent. Zwischen 7 und 11 Tagen ist im Durchschnitt jeder Patient an der Maschine angeschlossen, in Ausnahmefällen können es aber auch bis zu 3 Monate sein.

Regensburg, September 2014

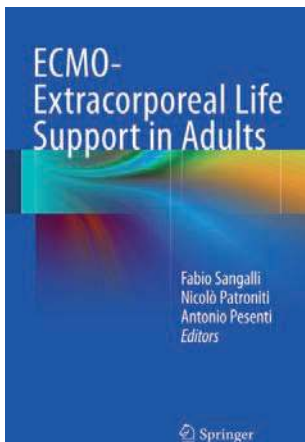
Entwickelt von Kardiotechnikern. Umgesetzt von Medtronic.

Affinity Fusion® Oxygenationssystem



Bücherjournal

Kollege Müller vermutet trotz gut liegender Kanülen bei einer veno-venösen ECMO eine geringe Effizienz des Systems; Kollegin Maier möchte die Restoxygenationsleistung der Lunge bestimmen; Kollege Schulze kennt die Mischproblematik der Blutgase bei einer femoro-femorale ECLS und befürchtet eine Unterversorgung des Myokards bei einer schlechter werdenden Lunge. All diese Dinge erkennt man meist nur durch Erfahrung und durch tiefe und breite Kenntnisse von Physiologie und Pathophysiologie. Bisher waren wissenschaftliche Publikationen, US-amerikanische ECMO-Foren und die internationale ECMO-Gesellschaft ELSO mit Ihrer ECMO Bibel „red book“ die Quelle für dieses Wissen. Sowohl technologisch als auch fachlich hatten sie uns viele Jahre und vor allem viele Patienten voraus. Inzwischen hat sich dieser Effekt umgekehrt und Entwicklungen und Verständnis werden mehr denn je diesseits des Teiches generiert. So war ein europäisches ECMO-Handbuch nur eine Frage der Zeit:



ECMO-Extracorporeal Life Support in Adults

Sangalli, Fabio, Patroniti, Nicolò, Pesenti, Antonio (Hrsg.)

Springer, Mailand 2014

Englische Ausgabe

ISBN 978-88-470-5426-4

ISBN 978-88-470-5427-1 (e-book)

489 Seiten, 92 Zeichnungen, gebunden

Preis: 149,79 €; 118,99 € (e-book)

Die Herausgeber waren sich bei der Konzeption dieses Handbuchs durchaus des schweren Erbes bewusst – existiert das „red book“ doch schon in mehreren Auflagen. Dennoch haben sie in dieser ersten

Auflage die Herkulesaufgabe gut gemeistert. In 40 Kapiteln auf insgesamt 489 Seiten werden alle Aspekte rund um dieses Thema behandelt.

Im ersten Teil mit sieben Kapiteln geht es um die Geschichte bzw. technische Aspekte der ECMO. Hier finden sich z.B. erste Hinweise über den Zusammenhang zwischen Effizienz der ECMO, Rezirkulation und Eigenleistung der Lunge. Die Autoren versuchen hier erstmals nachvollziehbar Lungen- und ECMO-Leistung separat zu berechnen. Es bleibt allerdings bei eher deskriptiven Formeln, direkte Rechenbeispiele bleiben sie schuldig. Die Aufzählung aller derzeit verfügbaren Materialien und Techniken ist umfangreich und auf dem aktuellen Stand. Im Kapitel Gerinnung wird hier schon das noch relativ neue Phänomen des erworbenen von-Willebrand-Syndroms besprochen. Die wichtige Rolle des Argatroban als alternatives Antikoagulans wird leider nur am Rande gestreift.

Im zweiten Teil mit kardialen Schwerpunkt werden von den o.g. Mischzonen bei retrograder Kanülierung, den verschiedenen Indikationen, der notwendigen Entlastung des linken Ventrikels alle notwendigen Bereiche behandelt.

Im dritten Teil geht es schließlich um die Pathophysiologie des ARDS, strukturelle Aspekte als auch das Management von Wach-ECMO-Patienten. Im eher kurzen vierten Teil vermitteln die Autoren erste Daten zu Möglichkeiten der Spenderlungenrekrutierung mittels ECMO – ein Verfahren, das aktuell in Großbritannien schon in mehreren Transplantationszentren angewandt wird. Im fünften Kapitel, Monitoring, werden alle wichtigen Aspekte wie Pflege, notwendige Echokardiographie, Neurologie, Hämodynamik und natürlich die Beurteilung des ECMO-Systems behandelt. Angenehm fällt das Kapitel troubleshooting auf, in dem alle klinisch möglichen Probleme stichwortartig abgehandelt werden. Natürlich sind außerdem Ausführungen zum Transport vorhanden.

Mit einem gut strukturierten Index als Plus gegenüber dem „red book“ und umfangreichen Referenzen am Ende jeden Kapitels hat der Leser neben dem eigentlichen Text viel Arbeit vor sich. Wenn auch umfangreich, so fehlen zu bereits genannten Problemen allerdings einige Schlüsselarbeiten. Es fällt vor allem auf, dass das Autorenteam bis auf wenige Ausnahmen aus

italienischen Kollegen besteht – hier haben jedoch andere europäische Experten durchaus auch gewichtige Erkenntnisse zu bieten.

Die eher kleineren shortcomings dieser ersten Auflage sollten nicht vom Erwerb abhalten, denn die noch offenen Fragen sollten als Ansporn zum Überlegen dienen. Wegen der Wichtigkeit des Themas sollte dieses Buch mehr sein als nur nice to have – es ist eher ein must have jeder Abteilung, die ernsthaft ECMO verstehen und hinterfragen möchte.

Johannes Gehron, Gießen

Cold Blood Versus Crystalloid Cardioplegia for Myocardial Protection in Adult Cardiac Surgery: A Meta-Analysis of Randomized Controlled Studies

J. Zeng, W. He, Z. Qu, Y. Tang, Q. Zhou, B. Zhang

Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia, 2014 June, 28(3): 674–681

Die Art der verabreichten Kardioplegielösung führt auch heutzutage noch immer zu weitreichenden Diskussionen zwischen den Anwendern. Während die einen kristalloide Lösungen bevorzugen, schwören andere auf die Verwendung einer Blutkardioplegie zur Protektion des Herzens. Nicht zu vergessen sind hierbei auch die Diskussionen im Falle der Blutkardioplegie, ob die Lösung kalt oder warm verabreicht werden soll.

Aus diesem Grund haben die Autoren des oben genannten Artikels eine Meta-Analyse der bisher zu diesem Thema veröffentlichten Studien durchgeführt. Die untersuchten Studien haben dabei alle kalte Blutkardioplegielösungen mit kalten Kristalloidlösungen direkt verglichen. Gesucht wurden die Studien mittels EMBASE, MEDLINE und der Cochrane Bibliothek. Speziell gesucht wurde nach den primären Endpunkten: Rückkehr zum spontanen Sinusrhythmus nach Eröffnen der Aorta, das Auftreten perioperativer Myokardinfarkte und die Mortalität nach 30 Tagen.

Insgesamt wurden 12 Studien mit insgesamt 2866 Patienten untersucht. Von der Gesamtzahl der Patienten erhielten 1357 Patienten kalte kristalloide Kardioplegie und 1509 kalte Blutkardioplegie.

Die gepoolte Analyse der Daten der einzelnen Studien ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Arten der Kardioplegie hinsichtlich spontaner Rückkehr zum Sinusrhythmus nach Eröffnen der Aorta, Mortalität, Vorhofflimmern oder dem Auftreten eines Schlaganfalls. Lediglich die aggregierten Daten der Studien, hinsichtlich des Auftretens eines perioperativen Myokardinfarkts, zeigten einen signifikanten Unterschied. Bei Verwendung einer kalten Blutkardioplegie trat dieses Ereignis signifikant weniger häufig auf.

In der abschließenden Diskussion kommen die Autoren zu dem Schluss, dass die beiden Kardioplegieverfahren als sicher

und effektiv in ihrer Anwendung zur Myokardprotektion anzusehen sind. Um einen möglichen Vorteil der kalten Blutkardioplegie in Bezug auf das Auftreten eines perioperativen Myokardinfarktes nachzuweisen, sind jedoch noch weitere große und randomisierte Studien nötig.

Marc Wollenschläger (B. Sc. CP), Kerckhoff – Klinik Bad Nauheim

Centrifugal Pump Performance During Low-Flow Extracorporeal CO₂ Removal; Safety Considerations

A. P. Simons et al.

Perfusion, published online, 11 June 2014, E-pub ahead of print, doi: 10.1177/0267659114540024

ECLS- und ECMO-Verfahren haben sich als erfolgreiche Techniken bei der Behandlung von Patienten mit akutem Herz- und/oder Lungenversagen etabliert. Mit angepassten Flüssen im Bereich von 0,5–1,5 l/min können solche Systeme auch für die extrakorporale CO₂-Elimination bei Patienten mit chronisch-obstruktiven Lungenerkrankungen eingesetzt werden.

In der vorliegenden Untersuchung wird eine konventionelle Zentrifugalpumpe mit einer neuen Zentrifugalpumpe verglichen, die speziell für extrakorporale CO₂-Eliminationsverfahren mit entsprechend niedrigen Flüssen entwickelt wurde.

In einem In-vitro-Kreislauf wurden hierzu der Fluss und die Mikroblasen-Aktivität bei verschiedenen Drehzahlen sowie die Ein- und Auslassdrücke gemessen.

Die Autoren konnten mit ihren Messungen zeigen, dass die Flussraten im unteren Drehzahlbereich bei beiden Pumpen vergleichbar sind, erst ab 2000 U/min ergeben sich, unabhängig von Vor- und Nachlast, Unterschiede in den Flussraten. Eine Zunahme der Mikroblasen-Aktivität konnte bei Einlassdrücken unter –156 mmHg und einem Fluss von 0,2 l/min bei der neu entwickelten Pumpe, sowie bei –224 mmHg und einem Fluss von 0,9 l/min bei der konventionellen Zentrifugalpumpe festgestellt werden. Die Mikroblasen-Aktivität nimmt exponentiell mit dem Sog am Pumpeneinlass zu. Genauere Angaben zur Mikroblasen-Aktivität bleiben die Autoren schuldig, da die Daten nur grafisch dargestellt

sind. Bei fast geschlossenen Klemmen zur Simulation entsprechender Vorlasten und hohen Drehzahlen war keine verlässliche Messung des Flusses aufgrund massiver Luftembolien mehr möglich. Dies trat bei der konventionellen Zentrifugalpumpe bei Flüssen unter 2 l/min und bei der neuen Zentrifugalpumpe bei Flüssen unter 0,5 l/min auf.

Die Autoren schlussfolgern, dass beide Pumpen eine hohe hydrodynamische Stabilität zeigen, jedoch bei der Verwendung der Pumpen eine potenzielle Gefahr der Mikroblasen-Aktivität mit steigendem Sog am Pumpeneinlass in Betracht gezogen werden muss.

Sven Maier, Freiburg

Is it Safe to Leave an ECMO Circuit Primed?

A. Weinberg, B. Miko, J. Beck, M. Bacchetta and L. Mongero

Perfusion, published online, 11 August 2014

Die mechanische Kreislaufunterstützung (MCS) ist eine praktikable Lösung für die Notfallbehandlung von Patienten im kardiopulmonalen bzw. isolierten pulmonalen Versagen. Für kurzfristige Unterstützungsdauern kann die MCS als Extracorporeal Life Support (ECLS) zur kardialen oder aber als Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) zur pulmonalen Unterstützung eingesetzt werden. Die Autoren erwägen in ihrer Arbeit, dass durch ein schon vorgefülltes (geprimtes) ECLS-System wertvolle Zeit von der Alarmierung bis zum Einsatz des Systems eingespart werden kann und bearbeiten dabei die Fragestellung, ob und wie lange ein schon geprimtes System steril vorgehalten werden kann.

Je schneller ein Patient bei einem zirkulatorischen Arrest behandelt wird, desto besser ist das Outcome für den Patienten. Erste Maßnahme ist sicherlich die kardiopulmonale Reanimation (CPR), welche immer öfter durch den Einsatz einer mobilen Herz-Lungen-Maschine – einer ECLS – unterstützt wird (E-CPR). Je schneller nun der Patientenkreislauf mittels der ECLS unterstützt werden kann, desto günstiger für den Patienten.

Die Autoren legen nahe, dass durch den Aufbau und das Primen des extrakorporalen Systems wertvolle Minuten verloren gehen können und untersuchten, ob ein schon aufgebautes und geprimtes ECMO- bzw. ECLS-System über einen längeren Zeitraum gelagert werden kann, ohne kontaminiert zu werden. Dafür wurden 5 extrakorporale Kreisläufe aufgerüstet und geprimt. Bei diesen Testkreisläufen wurden über einen Zeitraum von 1 Monat regelmäßige Proben entnommen, um zu beurteilen, ob eine bakterielle Kontamination stattgefunden hat. Die extrakorporalen Kreisläufe waren zufällig aus den im klinischen Betrieb im Columbia University Medical Center laufenden Systemen ausgewählt.

Die Arbeitsgruppe konnte zeigen, dass zu keinem Zeitpunkt der Probenabnahme (pre-priming, 0 Stunden, 24 Stunden, 72 Stunden, 1 Woche, 2 Wochen, 3 Wochen und 4 Wochen) eine bakterielle Kontamination des extrakorporalen Kreislaufs stattgefunden hat. Folglich postulieren die Autoren eine sichere, kontaminationsfreie Vorhaltung von vorgefüllten ECMO/ECLS-Systemen und damit vermutlich ei-

ne schnellere Reaktionszeit bis zur Implantation.

Die Autoren sehen in der Möglichkeit einer kontaminationsfreien Vorhaltung vorgefüllter ECMO/ECLS-Systeme eine möglicherweise für das Outcome des Patienten entscheidende Zeitersparnis bis zur Implantation des Systems. Allerdings stellt sich dabei die Frage, ob es wirklich notwendig ist, die Systeme in vorgefülltem Zustand zu lagern, oder ob es ausreichend sein kann, die Systeme „trocken“ aufgerüstet vorzuhalten. In der Regel dauert ein Kanülierungsvorgang (perkutane über Seldinger-Technik) mehrere Minuten, in denen das System mühelos gefüllt werden kann. Sicherlich ist dabei aber auch die Alarmierungszeit des Kardiotechnikers in Betracht zu ziehen.

Indes kann man im Rückschluss auf diese Untersuchung sagen, dass, wenn ein vorgefülltes System kontaminationsfrei über vier Wochen vorgehalten werden kann, sicherlich auch ein nicht gefülltes System kontaminationsfrei bleibt.

Rolf Klemm, Freiburg

CUSTODIOL®

HTK-Bretschneider

Basisinformation zu CUSTODIOL®

Zusammensetzung: 1000 ml CUSTODIOL® enthalten: 0,8766 g Natriumchlorid (15,0 mmol); 0,6710 g Kaliumchlorid (9,0 mmol); 0,8132 g Magnesiumchlorid Hexahydrat (4,0 mmol); 27,9289 g Histidin (180,0 mmol); 3,7733 g Histidinhydrochlorid-Monohydrat (18,0 mmol); 0,4085 g Tryptophan (2,0 mmol); 5,4651 g Mannitol (30,0 mmol); 0,0022 g Calciumchlorid x 2 H₂O (0,015 mmol); 0,1842 g Kaliumhydrogen-2-oxopentandioat (1,0 mmol); Kaliumhydroxidlösung, Wasser für Injektionszwecke. **Anwendungsgebiete:** Kardioplegie bei kardiologischen Eingriffen, Organprotektion bei Eingriffen in Bluteere (Herz, Niere, Leber, Pankreas), Konservierung von Organtransplantaten (Herz, Niere, Leber, Lunge, Pankreas), sowie Venen- und Arterientransplantaten und Multiorganprotektion. **Gegenanzeigen:** Bisher nicht bekannt. **Nebenwirkungen:** Bisher keine bekannt. **Darreichungsform und Verpackungsgrößen:** Packungen zu 10 Flaschen à 500 ml, Packungen zu 6 Flaschen/Beutel à 1000 ml; Packungen zu 4 Beutel à 2000 ml, Packungen zu 2 Beutel à 5000 ml. **Verschreibungspflichtig.**
Stand: 09/2014

Pharmazeutischer Unternehmer:
Dr. Franz Köhler Chemie GmbH
Werner-von-Siemens-Str. 22-28
D-64625 Bensheim, Germany
Telefon: +49 (0) 6251/1083-0
Fax: +49 (0) 6251/1083-146

DR. F. KÖHLER CHEMIE

Arzneimittel



13. Freiburger Herz-Kreislauf-Tage, 18.–19. Juli 2014, Freiburg

Bei den Freiburger Herz-Kreislauf-Tagen ist die Kardiotechnik nun schon seit mehreren Jahren fester und vor allem überwiegender Bestandteil dieser für die Kardiotechnik kleinen, aber feinen Tagung. Nach wie vor macht natürlich der Tagungsort Freiburg die Tage zu einem Ereignis. Bei dem überschaubaren Umfang der Tagung ist die Sitzung der Kardiotechnik zwar eher klein, die Diskussion unter bekannten Kollegen aber dafür sehr offen und konstruktiv.

In einer Mischung um die Schwerpunkte Extracorporeal Life Support (ECLS), Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO), Datenmanagement und Perfusionsstrategien erörterten die Kollegen notwendige Strukturen für eine adäquate Versorgung der Patienten mit ECLS bzw. ECMO.

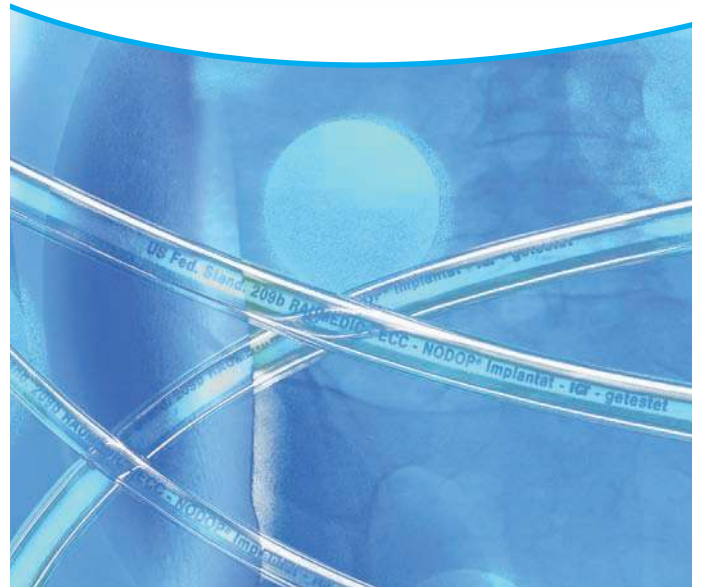
Während fünf Jahre Lufttransport in Regensburg eine externe Expertise zeigte, lag der Schwerpunkt der weiteren Vorträge eher bei der Verfeinerung von internen Verfahrensweisen. Neben ersten quantifizierten Ergebnissen zur Rezirkulation aus Gießen zeigte ein Übersichtsvortrag aus Freiburg, wie wenig wir eigentlich über optimale hämodynamische Bedingungen während einer Reanimation wissen.

Im zweiten Block gab es dann sowohl operative als auch intensivmedizinische Themen. Neben der nüchternen Erkenntnis, dass auch zwei Oxygenatoren eine ECMO nicht objektiv besser machen, gehen die Freiburger Kollegen gerade bei der komplexen Versorgung während großer Aorten Chirurgie neue Wege der Perfusion.

Es bleibt abzuwarten, ob Mortalität und Morbidität verbessert werden.

Trotz der Bekanntheit ist die Teilnahme der Kardiotechnik noch verbesserungsbedürftig. Bei diesen wichtigen Themen, die uns alle betreffen, ist mehr Interesse und Teilnahme absolut sinnvoll.

Johannes Gehron, Gießen



Fluss des Lebens

RAUMEDIC - seit Beginn der Herzoperationen

in Deutschland Partner der Kardiotechnik

und einziger Halbzeuglieferant, der die

Kardiotechniker-Tagung regelmäßig begleitet.

Mit RAUMEDIC ECC noDOP wurde ein Schlauchsystem entwickelt, das in seiner Blutverträglichkeit kaum zu überbieten und DOP-frei ist. Es fällt damit nicht unter die Kennzeichnungspflicht für Phtalat.

Darüber hinaus erreichen Schläuche mit dem modifizierten Weichmacher TEHTM gleich gute Werte wie aufwändig beschichtete PVC-Typen.

Fragen Sie den Set-Lieferanten Ihrer Wahl nach RAUMEDIC!

RAUMEDIC AG
D - 95233 Helmbrechts
Tel.: 09252 359 2341
Fax: 09252 359 1000

www.RAUMEDIC.de
info@RAUMEDIC.com





Mitteilungen

der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT
FÜR KARDIOTECHNIK E. V.

Vorstand: Dr. Christoph Benk, Uniklinikum Freiburg, Telefon: 07 61 / 2 70-25 88 und -24 50, Telefax: 07 61 / 2 70-24 33, E-Mail: christoph.benk@dgfkt.de

***Erfahrung ist nicht das, was einem zustößt.
Erfahrung ist das, was man aus dem macht,
was einem zustößt.***

Aldous Leonard Huxley (britischer Schriftsteller, 1894–1963)

Das zu Ende gehende Jahr ist wieder einmal reich an Erfahrung jeglicher Couleur. Politisch wird es zunehmend unruhiger – traditionelle Grenzen werden mehr und mehr in Frage gestellt und alte Systeme, die einen Status quo ausmachten, schwinden dahin. Die Informationsflut nimmt enorm zu, die Qualität dagegen wird durch heiß gestrickte Artikel wohl kaum besser.

In der Biomedizin stellen sich gut gemeinte und tradierte Verfahren als nicht überlegen dar und sind damit hinfällig. Auch in der Kardiotechnik machen wir diese Erfahrung. Das muss aber nicht zwingend negativ sein. Es liegt an uns, etwas Sinnvolles aus diesen Erfahrungen zu machen.

Vielen Dank allen Autoren und Mitwirkenden, die im vergangenen Jahr in der Zeitschrift KARDIOTECHNIK dazu beitrugen!

Im Namen des Vorstandes der DGfK
und der Redaktion
Johannes Gehron

UNBEKANNT VERZOGENE MITGLIEDER

Die folgenden Mitglieder sind leider unbekannt verzogen. Sollte jemand der Leser den neuen Arbeits- oder Wohnort kennen, würden wir uns über eine Nachricht an die DGfK sehr freuen:

Tel.: (06032) 996-2519

Fax: (06032) 862 34

E-Mail: kardiotechnik.gmbh@t-online.de

Archontidis, Fotios, Zürich/Schweiz
Bohn, Sabrina, Erlangen
Costabile, Simon, Binz
Demuth, Markus, Spardorf
Dienemann, Diana, Magdeburg
Esser, Bruno, Neunkirchen
Fahrig, Gerald, Tonndorf
Jüngling, Gerhard, Linz/Österreich
Leusder, Stefan, Essen
Maeß, Christoph, Hamburg
Martin, Werner, Bad Aibling
Mesdag, Sabine, Dortmund
Moll, Fritz, Stutensee
Murer, Diana, Köln
Stiller, Markus, Halle
Vollmer, Frank, Wuppertal
von Manstein, Jörg, Essen
Weichelt, Klaus, Füllinsdorf/Schweiz
Wiese, Wolf-Ingo, Hattingen
Zarrinkob, Kourosh, Siegburg

Operieren Sie gern im Dunkeln?



Beleuchten Sie die Plättchenfunktion Ihrer Patienten und optimieren Sie so den OP-Zeitpunkt sowie Ihren TK-Verbrauch*

* T.Müller, On Site Thrombozytenaggregationstest im herzchirurgischen Bereich unter Einsatz des VerifyNow®, Kardiotechnik 04/13

 **Keller Medical**

VerifyNow®
Easy. Rapid. Proven.



Keller Medical GmbH
Wiesbadener Weg 2A, 65812 Bad Soden
info@keller-medical.de, www.keller-medical.de

Kongresstermine

2014

43. Internationale Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik e. V. und 6. Fokustagung Herz
21.–23. November 2014, Nürnberg
Info: Dieter Lorenz, Kardiotechnik Verwaltungsges. mbH, Mühlgasse 29, 61231 Bad Nauheim
Tel.: (06032) 996 25 19, Fax: (06032) 862 34
E-Mail: dieter.lorenz@kardiotechnik-gmbh.de, Web: www.dgfk.de
- 9th European Mechanical Circulatory Support Summit
3.–6. Dezember 2014, Bad Oeynhausen
Info: Kirsten Knight/Lydia Finster, Interplan Congress, Meeting & Event Management AG, Office Hamburg: Kaiser-Wilhelm-Str. 93, 20355 Hamburg
Tel.: (040) 325 092 30, Fax: (040) 325 092 44
E-Mail: eums2014@interplan.de, Web: www.eums.org

2015

- International Course on ECMO and Euro-ELSO
Extracorporeal Support in Respiratory and Circulatory Failure
7.–10. Mai 2015, Regensburg
Info: Universitätsklinik Regensburg, Congress Management UK3, Britta Haseneder/Irmgard Scherübl, Franz-Josef-Strauss-Allee 11, 93053 Regensburg
Tel.: (0941) 944 42 30, Fax: (0941) 944 42 33
E-Mail: kongresse@ukr.de
44. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Thorax-, Herz- & Gefäßchirurgie
8.–11. Februar 2015, Freiburg
Info: INTERPLAN, Congress, Meeting & Event Management AG, Landsberger Straße 155, 80687 München
Tel.: (089) 54 82 34 73, Fax: (089) 54 82 34 42
E-Mail: dgthg@interplan.de
- EuroELSO 2015
7.–10. Mai 2015, Regensburg
Info: INTERPLAN, Congress, Meeting & Event Management AG, Bettina Baum/Sonja Hentsch, Landsberger Str. 155, 80687 München
Tel.: (089) 54 82 34 73, Fax: (089) 54 82 34 42
E-Mail: euroelso2015@interplan.de, Web: www.interplan.de
- International Course on ECMO
25.–26. Juni 2015, Paris, Frankreich
Info: OVERCOME, ECMO 2015, Boulevard Paul-Emile Victor 3–5, 92523 Neuilly-sur-Seine cedex, France
Tel.: +33 (0)1 41 92 01 20, Fax: +33 (0)1 46 41 05 21
E-Mail: paris-ecmo@overcome.fr

Impressum

Anschrift für Autoren bzw. Fachbeiträge

Johannes Gehron, Schriftleiter
Universitätsklinikum Gießen u. Marburg GmbH
Klinik f. Herz-, Kinderherz- u. Gefäßchirurgie
Rudolf-Buchheim-Str. 7, 35392 Gießen
Telefon 06 41 / 985-44 258
Telefon (DECT) 06 41 / 985-44 917
Telefax 06 41 / 985-44 266
Mobil 0171 / 633 47 69
E-Mail: johannes.gehron@dgfkt.de
johannes.gehron@chiru.med.uni-giessen.de

Chefredaktion, Firmenporträts, Abonentenservice, Anzeigenverwaltung

Dipl.-Ing. Petra Kirsten-Treptow
Rethkoppel 40 a, 22399 Hamburg
Telefon 0 40 / 2 78 09 144
Telefax 0 40 / 2 78 09 155
E-Mail: pkt@kirsten-treptow.de

Lektorat und Schlussredaktion:
Friederike Meltendorf
E-Mail: f.meltendorf@gmx.de

Satz und Litho

EPAS Joachim Böttcher, 22885 Barsbüttel

Druck

Schipplick+Winkler Printmedien, 23556 Lübeck

Erscheinungsweise

4 x jährlich: Februar, Mai, September, Dezember

Jahresabonnement € 34,–

Einzelheft-Preis € 10,–

Ausland: € 40,– / Einzelheft € 12,–

jeweils zzgl. Versandkosten.

Inlandspreise inkl. ges. MwSt.

Abonnementbestellung schriftlich beim Verlag.

Mindestbezugsdauer 1 Jahr, Verlängerung

jeweils um 1 Jahr, wenn keine Abbestellung erfolgt.

Kündigung 3 Monate zum Jahresende.

Druckauflage: 1000 Exemplare

Von Autoren gekennzeichnete Beiträge geben nicht unbedingt die Meinung der Schriftleitung wieder. Für unverlangt eingesandte Manuskripte übernehmen Herausgeber, Schriftleitung und Verlag keine Haftung. Mit der Annahme der Manuskripte von Erstveröffentlichungen erwirbt der Verlag das ausschließliche Recht der Vervielfältigung, Verbreitung und Übersetzung. Die in der Zeitschrift veröffentlichten Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen, Mikroverfilmung, Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen einschl. Aufnahme in die Internet-Seiten der DGfK, auch auszugsweise, sind dem Herausgeber/Verlag vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung und mit Quellenangabe gestattet. Fotokopien für den persönlichen und sonstigen eigenen Gebrauch dürfen nur von einzelnen Beiträgen oder Teilen daraus als Einzelkopien hergestellt werden.

ISSN 0941-2670

Die KARDIOTECHNIK wird auf chlorfrei gebleichtem Papier gedruckt.

Weitere TERMINE und HINWEISE FÜR AUTOREN finden Sie auch im Internet unter:

www.dgfkt.de/indexzeitneu.htm sowie ctsnet.org/events

! Angabe der Rezertifizierungspunkte ohne Gewähr

Thopaz⁺™



INTELLIGENTE THERAPIE. OPTIMALE BEHANDLUNG.

Thopaz⁺, das digitale Thoraxdrainage System der neuesten Generation bietet optimierte klinische Ergebnisse durch digitale Messung von Luft und Druck – jetzt neu mit Flüssigkeitsmessung.



- | Thopaz⁺ verringert den Arbeitsaufwand für das medizinische Fachpersonal
- | Thopaz⁺ liefert eine genaue Überwachung von Luftleckagen und Intrapleuraldruck sowie eine direkte Messung der Flüssigkeitsmengen
- | Thopaz⁺ ermöglicht ein ununterbrochenes Absaugen von Flüssigkeiten direkt nach der Operation bis zum Entfernen der Thoraxdrainage
- | Thopaz⁺ reduziert Kosten und Sondermüll für das Klinikmanagement

Thopaz⁺
Thoraxdrainage System

Precious life – Progressive care



CARDIOHELP System - The **multi-therapy** solution

MAQUET
GETINGE GROUP

Mit CARDIOHELP hat Maquet ein Herz-Lungen-Unterstützungssystem für verschiedene Therapieoptionen entwickelt, das sofort einsatzbereit ist und für eine Vielzahl von Indikationen in Herzchirurgie, Intensivmedizin, Notfallmedizin und Kardiologie genutzt werden kann.

Aufgrund seines geringen Gewichts und des kompakten Designs eignet sich die CARDIOHELP-i hervorragend als Lungen- und/oder Kreislaufunterstützung bei Patiententransporten.



Maquet | The Gold Standard

Besuchen Sie uns vom 21.-23.11.2014 auf der 43. Internationale Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik e. V.