

A. Philipp, M. C. Reng*, M. Kaiser,
M. Pfeifer**, H. Aeber, R. Behr,
D. E. Birnbaum

Klinik für Herz-, Thorax- und herznahe
Gefäßchirurgie
(Direktor: Prof. Dr. D. E. Birnbaum)

* Klinik und Poliklinik für Innere Medizin I
(Direktor: Prof. Dr. J. Schölmerich)

** Klinik und Poliklinik für Innere Medizin II
(Direktor: Prof. Dr. G. Riegger)

Klinikum der Universität Regensburg

Arterio-venöse pumpenlose extrakorporale Lungenunterstützung als neues Verfahren bei der Behandlung des Lungenversagens

ZUSAMMENFASSUNG

Die extrakorporale Lungenunterstützung (ECLA) ist ein etabliertes Behandlungsverfahren beim akuten Lungenversagen. Hierbei handelt es sich um ein veno-venöses Bypassverfahren. Das Blut wird mittels Roller- oder Zentrifugalpumpe gefördert unter Verwendung heparinbeschichteter Kanülen, Membranoxygenator und Schlauchsysteme. Ungeachtet dessen stellt eine Pumpe, deren Fördervolumen zwischen 1,0 und 4,0 l/min liegt, einen permanenten Streß für die zellulären Blutbestandteile dar.

Bei Patienten mit guten hämodynamischen Verhältnissen, d. h. $CI > 4,0$ l/min/m² KOF und Erfüllung der ECLA-Kriterien, kann eine arterio-venöse „pumpenlose“ ECLA die Hypoxie und Hyperkapnie kompensieren. Der Anschluß der ECLA erfolgt über Kanülen in der Arteria femoralis und der Vena femoralis. Durch den Wegfall des Pumpaggregats kann auch bei Patienten mit marginalen Gerinnungsparametern die ECLA durchgeführt werden. Der Blutfluß durch die ECLA-Einheit liegt bei 2,0–2,5 l/min. Der arterio-venöse Shunt wird durch folgende Faktoren bestimmt: MAP, Kanülenquerschnitt, Widerstand des MO und den zentralen Venendruck. Das Verfahren wurde erst ermöglicht durch die Konstruktion eines Membranoxygenators (Jostra Medizintechnik) mit einem sehr geringen Druckabfall in Relation zur Blutströmung.

Mit der av-pECLA wurden 15 Patienten behandelt, sieben Patienten konnten bei gutem Befinden entlassen werden. Die Unterstützungsdauer lag zwischen 3 und 32 Tagen. Das Verfahren ist nicht geeignet für Patienten mit reduziertem bzw. normalem Herzzeitvolumen.

SCHLÜSSELWÖRTER

Pumpenloses ECLA, Membranoxygenator, ARDS, Langzeiteinsatz von MO, AV-Shunt.

SUMMARY

Extracorporeal Membrane Oxygenation (ECMO) for temporary lung assistance (Extracorporeal Lung Assist, ECLA) has been used for nearly 25 years now for patients with severe acute respiratory failure [1, 2]. Adult respiratory distress syndrome (ARDS) carries a high mortality rate (70–80 %) and the use of ECLA consisting of a membrane oxygenator and a roller or centrifugal pump has helped to improve survival rate in individual cases [3]. The introduction of heparin coating improved the biocompatibility of these systems with resultant decrease of bleeding and thrombotic complications. Major improvements have also been made in recent years concerning long term function of membrane oxygenators, at least in some models, decreasing the frequency of necessary oxygenator changes due to massive plasma leakages. However, ECLA with a pump remains a highly specialised form of treatment with many possible complications, an inherent problem of significant blood traumatization and clotting disturbances.

At our hospital the cardiothoracic department in conjunction with the medical department developed an alternative form of treatment for ARDS in the form of an arterial-venous pumpless ECLA (av-pECLA). Core piece of this system is a newly developed oxygenator by Jostra Medizintechnik AG, Hirrlingen. It is a special membrane oxygenator with a very low resistance to blood flow (dpMO) [9]. Prerequisite for the use of av-pECLA is a cardiac index greater than 4 l/min/m² and a mean arterial pressure (MAP) greater than 80 mmHg to achieve an effective blood flow through the av-pECLA system.

The femoral artery and vein are cannulated using Seldinger technique (cannula size 17 to 19 Fr) and the patient's MAP is the driving force through this artificial shunt. Blood flow rates of 2.0 to 2.5 l/min can be achieved, gas flow is regulated at 12 l/min

with an FIO₂ of 1.0. The blood is enriched with O₂, and CO₂ is eliminated.

The oxygenator is placed between the patient's legs, it has no added heat exchanger as the shortness of tubing does not result in significant heat loss. The whole system is heparin-coated, total priming volume is 270 ml and total length from cannula tip to cannula tip is 130 cm. With the elimination of a pump and reduction of tubing length blood traumatization and subsequent substitution of blood products could be significantly minimised. Being very simple the system entails fewer risks of complications inherent to extracorporeal circulations and also makes nursing care and positioning of the patient very straightforward as there are no fixed attachments to the bed.

However, av-pECLA can only be used in a highly selective group of patients. The „ideal candidate“ for av-pECLA is therefore a patient on a medical ICU with acute severe reversible respiratory failure rather than a post cardiac surgical patient.

Our experience to date comprises 15 patients. Mean assist time was 15.1 ± 8.0 days with a cumulative assist time of 226 days. A total of 24 oxygenators was used (3 changes were due to a switch from a pump-assisted to a pumpless ECLA). One oxygenator had to be changed due to a plasma leakage on the 20th day of assistance. No oxygenator had to be changed due to a reduction in gas exchange capability. Two oxygenators were in continuous use for 27 days respectively 22 days without any problems.

There were 7 longterm survivors, 3 patients died while on the system, 4 patients died after successful weaning from av-pECLA.

KEY WORDS

Pumpless ECLA, membrane oxygenator, ARDS, longterm oxygenator function, av-shunt.

EINFÜHRUNG

Die Extrakorporale Membranoxygenation (ECMO) zur temporären Lungenunterstützung (ECLA) ist seit nahezu 25 Jahren ein etabliertes Behandlungsverfahren bei Patienten mit akutem schweren Lungenversagen [1, 2]. Das Adult Respiratory Distress Syndrom (ARDS) ist mit einer hohen Letalität (70–80 %) verbunden. Die ECLA mittels Membranoxygenator (MO) und einer externen Roller- oder Zentrifugalpumpe hat im Einzelfall eine Verbesserung der Überlebensrate ergeben. Die ECLA ist jedoch ein spezielles Verfahren, das erhebliche Komplikationsrisiken in sich birgt [3]. Neben den technischen und logistischen Voraussetzungen sind daher Erfahrungen mit der extrakorporalen Zirkulation und Oxygenierung unabdingbar.

ZIELE DER ECLA UND BEGRIFFSBESTIMMUNG

Für die Unterstützung der Beatmungstherapie mittels Extrakorporalsystem gibt es eine Anzahl von Begriffen, die letztlich das gleiche bedeuten: Minimierung der negativen Effekte einer maschinellen Beatmung auf die Lunge, im Sinne eines Barotraumas, und die Reduktion hoher inspiratorischer O₂-Konzentration [4]. Das Konzept der ECLA ist einfach, die Durchführung jedoch ein komplexes Unterfangen.

ECMO	Extracorporeal Membrane Oxygenation
ECLA	Extracorporeal Lung Assist
ECLS	Extracorporeal Life Support
ECCO ₂ R	Extracorporeal CO ₂ Removal
IVOX	Intravascular Oxygenation
av-pECLA	arterio-venous pumpless Extracorporeal Lung Assist

INDIKATION ZUR ECLA

Eine Indikation zur ECLA liegt vor, wenn alle Optionen der konventionellen Beatmungstechniken erschöpft sind und keine inkurable Grunderkrankung vorliegt. Dabei muß die zugrundeliegende Lungenschädigung reversibel sein. Relative Kontraindikationen sind: schwere Blutungskomplikationen, hohes Alter und Immunsuppression [5, 6].

HEUTIGER STAND DER ECLA-TECHNIK

In Analogie zur konventionellen Herz-Lungen-Maschine (HLM) werden für die ECLA Kapillarmembranoxygenatoren und Zentrifugal- oder Rollerpumpen verwendet. Oxygenator, Zentrifugalpumpe, Kanülen und Schlauchsystem sind heparinbeschichtet. Dazu stehen verschiedene Be-



Abb. 1: av-pECLA-System mit Kanülen, O₂-Flowmeter und Strömungsmesser. Das System ist komplett heparinbeschichtet.

schichtungsverfahren zur Verfügung (AöThel von AOT, Bioline von Jostra, Carmeda von Medtronic und Duraflow II von Baxter). Durch die Heparinbeschichtung der Systemkomponenten wurde die Biokompatibilität des Systems deutlich verbessert. Blutungskomplikationen und Thrombenbildung im Extrakorporalsystem konnten deutlich vermindert werden. Ein entscheidender Durchbruch gelang mit der Verbesserung der Langzeitfunktion von Kapillarmembranoxygenatoren. Die limitierenden Plasmaleckagen, im Einzelfall schon am ersten Tag, traten zumindest bei einem Teil der Hersteller nicht mehr auf.

ECLA SET-UP

Aufbau- und Systemkomponenten sind nicht standardisiert und unterliegen individuellen Vorstellungen, welche oft konträr zu einer strömungsdynamisch atraumatischen Blutführung stehen (Y-Konnektionen, lange Leitungen und Konnektoren). Für den Anschluß der ECLA gibt es zwei Varianten: veno-arteriell (V-A) und venovenös (V-V). Die V-V ECLA entspricht der Standardtechnik [7]. Hierbei wird venöses Blut mit einer Kanüle entnommen, die über die V. femoralis eingeführt wird und bis ca. 3 cm unterhalb der Einmündung der Vena cava inferior in den rechten Vorhof reicht. Das Blut wird mittels Pumpaggregat durch den Oxygenator gepreßt und via V. jugularis bzw. V. subclavia zurückgeführt. Die V-A ECLA kommt zum Einsatz, wenn zusätzlich zu einer grenzwertigen Beatmungssituation ein Pumpversagen des Herzens vorliegt. Mit diesem Verfahren wird durch die Paralleltechnik, V. femoralis ⇒ A. femoralis, neben der Oxygenation eine gewisse Entlastung des Herzens erreicht.

ENTWICKLUNGSKONZEPT UND TECHNISCHE REALISIERUNG DER AV-PECLA

Der Einsatz einer Pumpe bei der venovenösen ECLA induziert eine beträchtliche Bluttraumatisierung und ist mit einer Ver-

schlechterung der Blutgerinnung verbunden. Für eine spezielle Gruppe von Patienten, bei denen eine Unterstützung der Beatmungstherapie mittels ECLA sinnvoll ist, wurde an unserer Klinik, in Zusammenarbeit mit den Kliniken für Innere Medizin I und II, ein neues Verfahren entwickelt (Abb. 1), das die Risiken und Probleme der EKZ minimiert.

Bei Patienten mit einem ausreichend hohen Herzzeitvolumen (HZV) kann eine pumpenlose arterio-venöse ECLA die Hypoxämie und Hyperkapnie kompensieren [8]. Durch den Wegfall einer Blutpumpe und kürzeste Anschlußverbindungen wird die Bluttraumatisierung reduziert. Die av-p-ECLA imponiert durch ihren einfachen Aufbau und die Vermeidung EKZ-bezogener Komplikationen. Das Verfahren ist erst mit der Konstruktion eines speziellen Oxygenators der Firma Jostra möglich geworden. Die Besonderheit des heparinbeschichteten MO liegt in seinem sehr geringen Widerstand (dpMO) in Relation zu einer bestimmten Blutströmung [9]. Durch die Reduktion des Strömungswiderstands ist es möglich, einen Oxygenator zwischen der A. femoralis und der V. femoralis zu positionieren. Der Spezialoxygenator verfügt über keinen Wärmetauscher, der auch nicht notwendig ist, da durch die kurze Leitungsführung der Wärmeverlust für den Patienten gering ist.

Der arterielle Patientenmitteldruck (MAP) bewirkt bei der Verwendung entsprechender Kanülen einen ausreichenden Durchfluß (Shunt), wobei das Blut im MO mit O₂ aufgesättigt und das enthaltene CO₂ ausgewaschen wird. Die Gaszufuhr des MO erfolgt mit ca. 12 l/min Sauerstoff, es wird kein Mischgas verwendet. Das Gas wird nicht erwärmt, und als Stellglied dient ein einfaches Rotationsflowmeter. Das komplette Set inklusive MO hat ein Füllvolumen von 270 ml. Die Leitungslänge des Systems, gemessen von Kanülenspitze zu Kanülenspitze, beträgt 130 cm. Sämtliche Komponenten sind heparinbeschichtet.

ANSCHLUSSTECHNIK

Es kommen art. Seldinger-Kanülen der Größe 17, 19 oder 21 French zur Anwendung (z. B. Jostra BP-FCSA 21V bzw. Medtronic CB 96535-019). Die venöse Rückführung erfolgt ebenfalls über eine art. Kanüle, da sie aufgrund ihrer kurzen Länge einen geringeren Strömungswiderstand gegenüber einer vergleichbaren venösen Seldinger-Kanüle hat. Vor der Punktion der Gefäße wird deren Durchmesser sonographisch ermittelt. So kann

die Kanülengröße für die A. femoralis (sie ist das kritische Gefäß) optimal gewählt werden, und eine spätere Ischämie im entsprechenden Bein wird vermieden. Ob die Katheter per Seldinger-Technik oder offen chirurgisch eingebracht werden, muß vom Einzelfall abhängig entschieden werden. Bei der Anschlußtechnik über eine End-zu-Seit-Anastomose mittels einer 8-mm-Gore-Prothese muß die Kanüle über die Nahtstelle in das Gefäß eingeführt werden. Liegt die Kanülenspitze nicht im Gefäß, ergibt sich eine insuffiziente Strömung durch den MO, da der Gefäßwiderstand im femoralen Abstromgebiet des Patienten deutlich geringer ist als im Shunt des ECLA-Systems. Nach unseren Erfahrungen läßt sich mit einer 19 Fr (Außendurchmesser 6,3 mm) Kanüle in der A. femoralis und ebenfalls einer 19 Fr Kanüle in der V. femoralis ein ausreichender Blutfluß in der ECLA erreichen. Ein MAP um 100 mmHg bewirkt einen Volumenstrom von ca. 2,4 l/min. Die sonographisch ausgemessenen Querschnitte der A. femoralis variierten bei den 15 Patienten zwischen 6,1 und 12,0 mm.

DETERMINANTEN DES ARTERIO-VENÖSEN SHUNTS FÜR DIE AV-pECLA

Der av-Shunt durch das System wird von folgenden Faktoren bestimmt: Systemischer Druck des Patienten, Inflowwiderstand der Kanüle in der A. femoralis, Widerstand des MO (dpMO), Widerstand der Rückstromkanüle in der V. femoralis sowie dem zentralen Venendruck (ZVD). Die Widerstände der Kanülen und des Membranoxygenators wirken additiv analog einer Reihenschaltung. Die treibende Druckdifferenz ergibt sich aus MAP - ZVD. Das ECLA-System befindet sich in Parallelschaltung zum Körperkreislauf. Nach dem Ohmschen Gesetz ist die Stromstärke (Blutfluß l/min) der Quotient aus Druckdifferenz (MAP - ZVD) und Widerstand der ECLA-Komponenten. ($dp_{ECLA} = dp_{Inflowkanüle} + dp_{MO} + dp_{Rückstromkanüle}$). Meßtechnisch konnten durch Differenzdruckmessungen bei einem MAP von 100 mmHg, Hb 11,5 g/dl und einem HZV von 10,5 l/min mit einer 19 Fr Inflowkanüle und einer 21 Fr Rückflowkanüle folgende Werte ermittelt werden (Abb. 2):

- Blutfluß = 2,3 l/min
- $dp_{Inflowkanüle}$ = 54 mmHg
- dp_{MO} = 15 mmHg
- $dp_{Rückflowkanüle}$ = 16 mmHg

Die sechs zuletzt verwendeten MO wurden mit 200 ml 20%igem Humanalbumin gefüllt (Priming), und es zeigte sich, daß sich dadurch der innere Strömungswiderstand

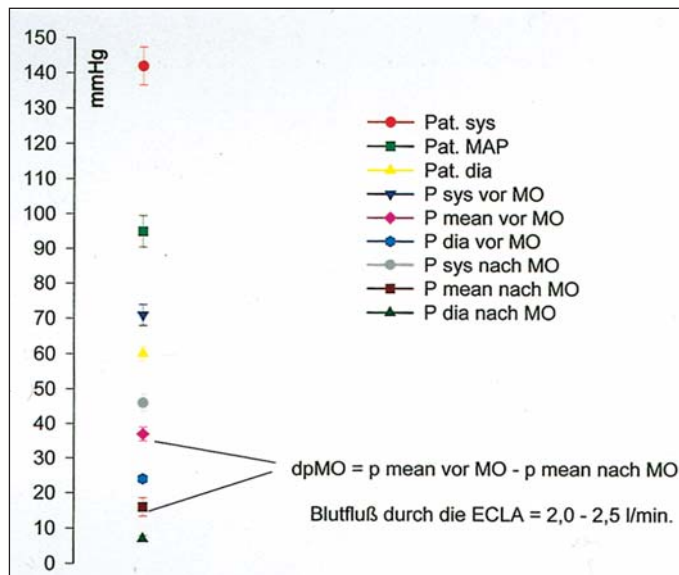


Abb. 2: Druckgradienten über den Systemkomponenten

des MO nochmals signifikant reduzierte, d. h. bei gleichen Bedingungen stellte sich ein Blutfluß von ca. 2,8 l/min ein. Die Volumenstromstärke durch die av-pECLA verläuft synchron zur Druckkurve. Meßtechnisch ergibt sich bei einem mittleren Fluß von 2,3 l/min in der Systole ein Spitzenfluß von ca. 3,0 l/min. Der Volumenstrom durch den MO wurde mittels bidirektionalem Flowsensor erfaßt (Transonic System Inc.). Damit liegen die Flußraten der pumpless ECLA ca. 1,0 bis 1,5 l/min unter dem der pumpenassistierten ECLA.

FUNKTIONSDAUER UND GASAUSTAUSCH DES MO

Die mittlere Unterstützungszeit lag bei $15,1 \pm 8,0$ Tage. Bei einer der 15 durchgeführten ECLA trat eine Plasmaleckage am Oxygenator auf. Am 20. Unterstützungstag wurde der MO aufgrund von Plasmaaustritt am Gasentlüftungsstutzen getauscht. Kein MO mußte aufgrund einer reduzierten Gasaustauschleistung ausgetauscht werden. Die längste Einsatzdauer eines MO lag bei 27 bzw. 22 Tagen. Bei den 15 Anwendungen ergab sich eine kumulative Unterstützungszeit von 226 Tagen. Dafür wurden 24 Membranoxygenatoren eingesetzt. Drei MO wurden durch den Systemumbau von pumpenassistierter ECMO auf av-pECLA benötigt.

Ein MO wurde am fünften Tag gewechselt, da sich auf der Anströmseite ein „Thrombenflap“ von ca. 4 x 3 cm aufgebaut hatte. Ein MO versagte am 8. Tag, als die ACT unter 100 sec abfiel, dabei wurde der Widerstand des MO so hoch, daß sich der Blutfluß auf 0,8 l/min reduzierte. In einem MO bildeten sich Thromben durch eine 30minütige Standzeit beim Rekanalisieren der thrombosierten Inflowkanüle. Das „Zu-

thrombosieren“ des MO bei einer verstopften Inflowkanüle verhindern wir heute dadurch, daß wir eine Infusion (z. B. 500 ml Gelafundin mit 5000 IE Heparin) am Einlaßkonnector des MO anschließen und den Oxygenator relativ rasch freispülen.

Bei den drei Anwendungen, die initial mit Pumpe liefen, wurde beim Switch auf das av-System ein komplett neues Set verwendet. Die Gasaustauschfunktion der MO war zum Zeitpunkt des Wechsels

nicht beeinträchtigt. Das pulsatile Anströmen der Oxygenatoren durch den Patientendruck erwies sich in doppelter Hinsicht als vorteilhaft:

Der pulsatile Volumenstrom verhindert sog. „Totwasserzonen“, in denen sich bevorzugt Thromben aufbauen. Bei einem kontinuierlichen Anströmen geschieht dies vorwiegend in den Randzonen des MO. Alle verwendeten MO wurden nach dem Systemausbau sorgfältig visuell auf Thromben untersucht, einige elektronenrastermikroskopisch. Es zeigten sich nur minimale Ablagerungen (Abb. 3).

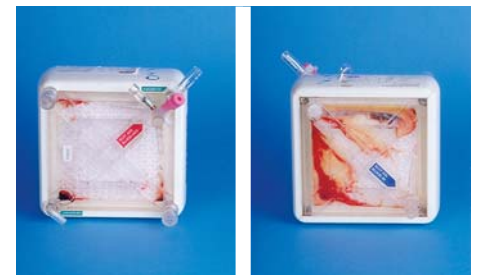


Abb. 3: An- und Abstromseite des MO nach 27-tägiger Funktionsdauer. Geringe thrombotische Ablagerungen auf der Anströmseite.

Der zweite Vorteil der pulsatilen Anströmung liegt in einer deutlich verbesserten Gasaustauschperformance. Bei gleichem Blutfluß und Gasfluß durch den MO ergaben sich höhere Ausgangspartialdrücke für O_2 und eine effektivere CO_2 -Auswaschung.

PFLEGERISCHE ASPEKTE BEI DER BEHANDLUNG VON PATIENTEN MIT ECLA

Da das System klein ist und zwischen den Beinen des Patienten positioniert wird, ergeben sich kaum Probleme bei der Patien-

Nr.	Alter	Diagnose	ECLA - Tage	Outcome
1	42 J	akute Pankreatitis	10	gut
2	22 J	Wegener Granulomatose	5* / 8	verstorben; 8 Tage nach ECLA
3	17 J	Waterhouse-Fridrich-Syn.	6* / 8	gut
4	31 J	Pneumocystis carinii-Pneumonie	13	8 Tage nach ECLA erneut ECLA
5	46 J	post Op. (Ao-asc)	7	verstorben am System (MOF)
6	31 J	Pneumocystis-carinii-Pneumonie	22	gut
7	42 J	Pneumokokken-Sepsis	27	gut
8	20 J	Waterhouse-Fridrich-Syn.	10	verstorben am System (MOF)
9	49 J	akute Pankreatitis	3	verstorben 50 Tage nach ECLA
10	69 J	Pneumonie nach Bilobectomy	8* / 13	verstorben 32 Tage nach ECLA
11	59 J	Pneumonie	8	gut
12	15 J	Polytrauma	8	gut
13	19 J	Pneumonie	18	gut
14	40 J	Pneumokokken-Sepsis	22	verstorben am System
15	48 J	Aspirationspneumonie	32	gut

Tab. 1: Daten der 15 Patienten mit ARDS, die mittels av-pECLA behandelt wurden. Das Patientenkollektiv rekrutierte sich aus den vier Intensivstationen des Klinikums. Das mittlere Alter der Patienten lag bei $36,7 \pm 16,3$ Jahren. Die Patienten erfüllten die Einschlusskriterien für eine ECMO-Therapie. Für die Patienten 1, 2, 3, 4, 6, 8, 11, 12 und 14 galten die „fast entry“-Kriterien. Ein Patient (4) mußte 8 Tage nach Beendigung der ECLA erneut für 22 Tage an das System angeschlossen werden. Der weitere Verlauf war problemlos. Zwei Patienten (2 und 5) sind im septischen Multiorganversagen an der ECLA verstorben.

* Nach diesem Zeitraum wurden diese Patienten vom Pumpen-ECLA auf av-pECLA gewechselt.

Nr.	MO-/Systemwechsel	Technische Probleme	System
1	ohne	keine	pumpless
2	Systemwechsel	Thromben im Pumpenkopf	Pumpe > pumpless *
3	Systemwechsel	Thromben im Pumpenkopf	Pumpe > pumpless *
4	MO	„Thrombenflap“ im MO	pumpless
5	MO	Inflowkanüle thrombosiert	pumpless
6	ohne	keine	pumpless
7	ohne	keine	pumpless
8	ohne	keine	pumpless
9	MO	Inflowkanüle thrombosiert	pumpless
10	Systemwechsel	keine adäquate Heparinisierung	Pumpe > pumpless *
11	ohne	keine	pumpless
12	ohne	keine	pumpless
13	MO	Inflowkanüle geknickt; dpMO++	pumpless
14	MO	Plasmaleck (am 20. Tag)	pumpless
15	MO	keine	pumpless

Tab. 2: Bei der pumpenbetriebenen ECLA lagen die technischen Komplikationen in der Ausbildung von Thromben im Pumpenkopf und im MO sowie einer latenten Hämolyse, bedingt durch die Pumpe. Bei der av-pECLA ergab sich das Hauptproblem aus thrombosierten Inflowkanülen. Hier war jeweils eine Beschädigung der Kanülenspitze beim Einführen ursächlich. Die mit * gekennzeichneten Patienten (2, 3 und 10) wurden, bedingt durch ihr grenzwertiges HZV ($CI < 3,0 \text{ l/min/m}^2/\text{KOF}$) und den geringen MAP ($< 60 \text{ mmHg}$), bei der Entscheidung zur ECLA zuerst mit einer konventionellen „Pumpenecl“ mit veno-venösem (V.femoralis fi V.jugularis) Anschluß versorgt. Es zeigte sich sehr schnell, daß sich mit Verbesserung der Sauerstoffversorgung auch die hämodynamische Situation verbesserte. Da die „Pumpenecl“ normalerweise nach dem fünften Tag einen Systemwechsel erfordert, bedingt durch Thromben im Pumpenkopf, wurde bei diesen Patienten zum Zeitpunkt des Systemwechsels die A. femoralis kanüliert und die ECMO ohne Pumpe in av-pumpless-Technik weitergeführt. Die Kanüle in der V. femoralis wurde hierbei als Rückstromkanüle verwendet. Die Kanüle aus der V. jugularis wurde entfernt.

Nr.	Eintrittsmodus (fast / slow)	Nierenversagen bei ECLA Beginn	Beatmungstage vor ECLA	Beatmungstage nach ECLA
1	fast	nein	10	21
2	fast	nein	5	8
3	fast	ja	1	23
4	fast	nein	2	nach 8 T. erneute ECLA
5	slow	ja	15	keine
6	fast	nein	22	10
7	slow	nein	18	20
8	fast	ja	4	keine
9	slow	ja	27	+ (50)
10	slow	nein	9	+ (30)
11	fast	nein	5	7
12	fast	nein	4	12
13	slow	nein	13	19
14	fast	ja	7	keine
15	slow	nein	18	26

Tab. 3: Acht der 15 Patienten wurden nach den Kriterien des „fast entry“ an die ECLA angeschlossen. Bei fünf Patienten lag bei ECLA-Beginn ein akutes Nierenversagen vor. Die mittlere Beatmungszeit vor ECLA betrug $10,7 \pm 7,8$ Tage. Zwei Patienten (9 und 10) wurden nach erfolgreicher Entwöhnung von der ECLA bei guter Lungenfunktion septisch und verstarben im Multiorganversagen.



Abb. 4: System bei femoraler Anschlußtechnik. Optional ist auch der Anschluß A. femoralis $\Rightarrow$ V. jugularis möglich.



Abb. 5: Patient mit Waterhouse-Friderich-Syndrom und ausgeprägter Thrombopenie. Die Unterstützungsdauer betrug 14 Tage. Nach einer Nachbeatmungszeit von 23 Tagen konnte der Patient extubiert werden.

tenpflege (Abb. 4 und 5). Es existieren keine Schlauchverbindungen außerhalb des Bettes. Die kinetische Therapie mittels RotoRest-Bett oder eine Bauchlage des Patienten kann problemlos durchgeführt werden. Der Transport in andere Räumlichkeiten, z. B. CT oder Herzkatheterlabor, ist ohne zusätzlichen Aufwand möglich.

Falls eine CVVH erforderlich war, konnte diese an den Luer-Konnektoren des MO adaptiert werden. Grundsätzlich wurde ein Heparinperfusor an den Luer-Konnektor der A.-femoralis-Kanüle angeschlossen. Die Dosierung wurde so gewählt, daß sich eine ACT von 130–150 sec (PTT 35–45) einstellte.

Die ECLA wurde explantiert (Abb. 6), wenn der Patient über mehr als 24 Stunden einen $\text{PaO}_2 > 80 \text{ mmHg}$ bei einem FiO_2 von 0,5 aufwies. Dann erfolgte das Ziehen der Rückstromkanüle in der V. femoralis, und

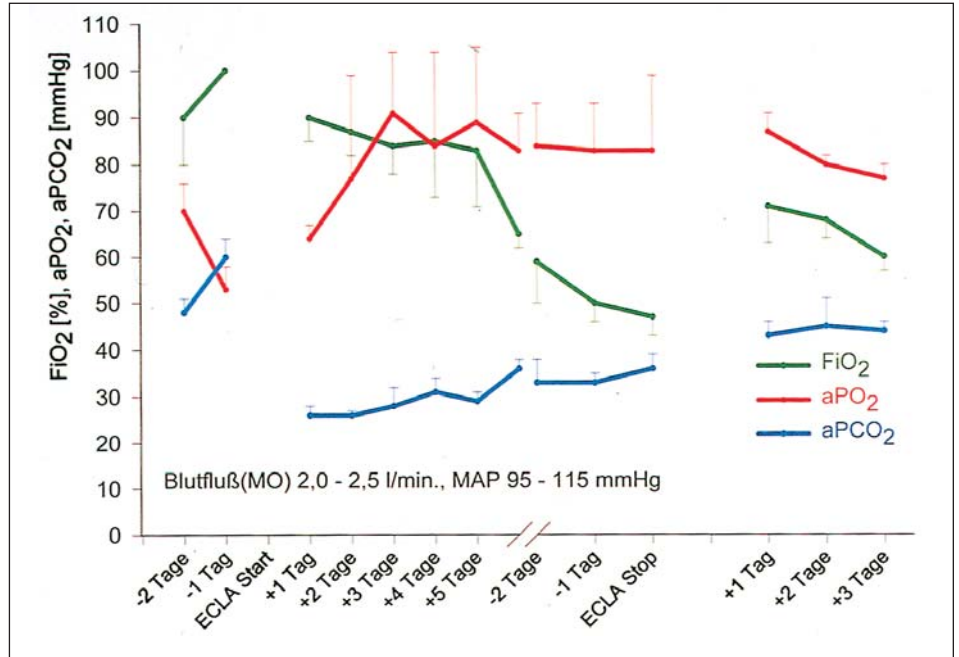


Abb. 6: Mittelwert und Standardabweichung aller art. pO_2 - und pCO_2 -Werte in Relation zum FiO_2 des Respirators. Dargestellt die ersten sechs Patienten, die ausschließlich mit der av-pECLA unterstützt, extubiert und entlassen werden konnten.

die Punktionsstelle wurde manuell komprimiert. Die Kanüle in der A. femoralis wurde in einigen Fällen durch einen gefäßchirurgischen Eingriff entfernt.

SCHLUSSBEMERKUNG

Mit der av-pECLA verfügen wir zur Behandlung des ARDS über ein zusätzliches Verfahren, das die durch eine pumpenbetriebene ECLA induzierten Risiken minimiert. Die Substitution von Blutprodukten reduziert sich deutlich. Die av-pECLA ist jedoch einem hochselektionierten Patientengut vorbehalten. Das Verfahren ist kontraindiziert bei Patienten mit einem verminderten bzw. normalen HZV. Ein Cardiac Index von $> 4 \text{ l/min/m}^2$ und ein MAP $> 80 \text{ mmHg}$ ist zu fordern, um einen effektiven Blutfluß durch die av-pECLA zu erreichen. Somit ist es in der Herzchirurgie nur bedingt anwendbar. Das Unterstützungssystem kommt primär bei „internistischen Patienten“ mit akutem Lungenversagen zum Einsatz.

LITERATUR

- [1] Areensmann RM, Deven Comish J: Extracorporeal Life Support. Blackwell Scientific Publications, Boston 1996
- [2] Gravlee GP, Davis RF, Utley JR: Key Events in the History of ECLS for Respiratory Failure. In: Cardiopulmonary Bypass, Principles and Practice 6. Williams and Wilkins, Baltimore 1996, S. 657
- [3] Hummel T, Haller H, Briegel J, Peter K: Heutiger Stand der extrakorporalen Lungenunterstützungstherapie (ECMO). Intensivmed. 34 (1997): 361–369
- [4] Dreyfuss D, Saumon G: From ventilator-induced lung injury to multiple organ dysfunction? Intensive Care Med. Editorial 24 (1998): 102–104
- [5] <http://www.ukl.uni-freiburg.de/anaesth/ecla.htm>
- [6] <http://www.healthanswers.com/database>
- [7] Alpard SK, Zwischenberger JB: Adult extracorporeal membrane oxygenation for severe respiratory failure. Perfusion 13 (1998): 3–15
- [8] Philipp A, Behr R, Reng CM, Kaiser M, Birnbaum D: Pumpless Extracorporeal Lung Assist. Extra-Corporeal Technology. Vol 30, Number 1 March 1998
- [9] Philipp A, Behr R, Reng CM, Kaiser M, Birnbaum D: ECLA – ein neues Verfahren der Lungenunterstützung bei ARDS mit einem „Low-Pressure“-Oxygenator unter Anwendung eines arterio-venösen Shunts. XXVII. Internationale Fortbildungs- und Arbeitstagung der Deutschen Gesellschaft für Kardiotechnik e. V., Mai 1998, Fulda

Alois Philipp
Klinik für Herz-, Thorax- und herznahe
Gefäßchirurgie
Klinikum der Universität Regensburg
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
93042 Regensburg
E-Mail: Alois.Phillipp@Klinik.Uni-Regensburg.de