

N. Madershahian, J. Wippermann,
T. Wittwer, J. Strauch, Y.-H. Choi,
K. Liebing¹, M. Kaluza¹, T. Wahlers¹

Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie,
Klinikum der Universität zu Köln
(Direktor: Prof. Dr. Th. Wahlers)

¹Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie,
Friedrich-Schiller-Universität Jena
(Direktor: Prof. Dr. J. Gummert)

Veno-arterielle ECMO zur Therapie des therapie- refraktären ARDS bei adultem Polytrauma

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund: Das posttraumatische Lungenversagen ist eine gefürchtete Komplikation mit sehr hoher Mortalität. Der Einsatz der extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO) wird hierbei kontrovers diskutiert.

Patienten und Methoden: Wir berichten über drei polytraumatisierte Patienten mit schwersten Lungenkontusionen, die aufgrund profunder Verschlechterung der Beatmungssituation und des Gasaustausches mittels veno-arterieller ECMO therapiert werden mussten.

Ergebnisse: Alle Patienten überlebten die ECMO-Therapie von 114 ± 27 h und konnten nach 37 ± 23 d in die AHB entlassen werden. Die ECMO-Anlage führte innerhalb von 2 h zu einer Steigerung der Oxygenierung von $46,2 \pm 5,1$ auf $113,7 \pm 37,8$ mmHg und weiter auf $189,7 \pm 47,4$ mmHg nach 24 h. Der mittlere Oxygenierungsindex betrug zum Zeitpunkt des ECMO-Therapieendes $238,3 \pm 27,2$ mmHg.

Schlussfolgerung: Die ECMO stellt bei Patienten mit posttraumatischem Lungenversagen als ultima ratio eine Maßnahme zur Therapie der Hypoxämie und Hyperkapnie dar. Die Verwendung von heparinbeschichteten Systemen und eine subtherapeutische Antikoagulation führen zur Reduktion von Komplikationen.

SCHLÜSSELWÖRTER

ARDS, ECMO, Thoraxtrauma

SUMMARY

Background: Posttraumatic respiratory failure remains a life-threatening complication with a high mortality rate. However, the usefulness of extracorporeal membrane oxygenation (ECMO) remains controversial.

Patients and methods: We report 3 cases of polytraumatized patients with severe lung contusions requiring treatment with veno-arterial ECMO due to deterioration of pulmonary function.

Results: All patients survived the ECMO-support of 114 ± 27 hours, spent 37 ± 23 days in the intensive care unit, and

could be transferred to rehabilitation centers. Following ECMO institution oxygenation increased from 46.2 ± 5.1 to 113.7 ± 37.8 mmHg and 189.7 ± 47.4 mmHg after 2 and 24 hours, respectively. The mean oxygenation index was 238.3 ± 27.2 mmHg by ending the ECMO support.

Conclusions: For patients with posttraumatic respiratory failure the institution of ECMO may be life-saving and beneficial. The use of heparin-coated circuitry and a subtherapeutic anticoagulation lead to reduction of ECMO related complications.

KEY WORDS

ARDS, ECMO, thoracic trauma

Einleitung

Die Sterblichkeit bei akutem posttraumatischem Lungenversagen liegt trotz des intensivmedizinischen Fortschritts zwischen 30 und 60 % [22] und zählt nach wie vor zu den führenden Todesursachen bei polytraumatisierten Patienten. Heute sieht die konservative Behandlung der akuten respiratorischen Insuffizienz (ARDS: Acute Respiratory Distress Syndrome) neben lungenprotektiven Beatmungsstrategien mit niedrigen Spitzenbeatmungsdrücken und geringen Tidalvolumina [6] auch die Lagerungstherapie [5, 21] sowie die Inhalation pulmonaler Vasodilatoren (NO, Prostaglandine) vor [12, 18, 25]. Die Hauptindikation zum Einsatz der extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO) als

Lungenersatzverfahren ergibt sich beim Versagen aller konservativen Behandlungsmöglichkeiten mit drohendem Versterben durch Hypoxie [15]. Das Ziel dieser Strategie ist die Sicherstellung einer adäquaten Oxygenierung und/oder CO₂-Elimination unabhängig von der Lunge bei zeitgleicher Entlastung und Ruhigstellung des Organs. Der Einsatz der ECMO ermöglicht die Durchführung einer optimierten lungenprotektiven Beatmungstherapie durch Reduktion des FiO₂, des Vt/kg (Atemzugvolumen/kg Körpermasse) und der inspiratorischen Spitzendrücke (P_{max} respektive P-Plateau) – die derzeit bekannten Induktoren eines beatmungsinduzierten Lungenschadens (VALI: Ventilator-associated Lung Injury). Ob allerdings der Einsatz der ECMO im Rahmen des posttraumatischen Lungenversagens, insbesondere beim Vollbild eines ARDS, die Mortalität der schwerst polytraumatisierten Patienten zu beeinflussen vermag, ist bislang aufgrund der kontroversen Studienlage nicht eindeutig bewiesen [10, 14, 24]. Weiterhin stellen schwere Begleitverletzungen wie Schädel-Hirn-Trauma aufgrund der notwendigen Antikoagulation an der ECMO bislang eine Kontraindikation für diese Maximaltherapie dar.

PATIENTEN UND METHODEN

Wir berichten über drei Patienten mit Polytrauma nach Verkehrsunfall, bei denen schwere Lungenkontusionen vorla-

Patient	1	2	3	Mittel ± SD
Alter/Geschlecht	19 J/w	48 J/m	26 J/m	31 J
Lung injury score	3,2	3,0	3,2	3,1 ± 0,1
paO ₂ /FiO ₂ -Ratio [mmHg]	42,8	52,1	43,7	46,2 ± 5,1
paO ₂ [mmHg]	43	52	44	46,3 ± 4,9
paCO ₂ [mmHg]	52,5	40,4	51	48 ± 6,6
SaO ₂ [%]	35	51	42	42 ± 8
pH	7,27	7,25	7,21	7,2 ± 0
Lactat	13,1	3,7	10,6	9,1 ± 4,9
Compliance	19	48	29	32 ± 14
PEEP	20	20	13	17,7 ± 4

Tab. 1: Status der Patienten unmittelbar vor Beginn der ECMO-Therapie

Patient 1	Patient 2	Patient 3
<ul style="list-style-type: none"> • Hauptbronchuseinriss re • Lungenkontusionen bds. • Hämatothorax bds. • SHT II° • Milzruptur • Leberkontusionen • Klavikulafraktur re • Unterkieferfraktur re • Rippenserienfraktur re 	<ul style="list-style-type: none"> • Lungenkontusionen bds. • Hämatothorax li • LWK-Fraktur 1, 2 • BWK-Fraktur 3, 5, 6, 8–11 • Beckenringfraktur • Unterarmfraktur re • Humerusfraktur re • Olecranonfraktur re 	<ul style="list-style-type: none"> • Lungenkontusionen bds. • Hämatothorax li • SHT III° • Subarachnoidalblutung • Milzruptur • HWK-Fraktur 2 • Rippenserienfraktur 1–9 li • Klavikulafraktur li • Skapulafraktur li

Tab. 2: Verletzungsmuster der Patienten

gen. Nach Primärversorgung musste in allen Fällen aufgrund dramatischer Verschlechterung der Beatmungssituation, die durch eine bereits eingetretene schwere Oxygenierungsstörung (paO_2/FiO_2 -Ratio < 50 mmHg) mit nicht zu korrigierender Azidose ($pH < 7,1$) unter optimierter Beatmungstherapie gekennzeichnet war (Tab. 1), die Indikation zum extrakorporalen Gasaustausch mittels veno-arterieller (VA) sowie bei einem Patienten mittels veno-veno-arterieller (V-VA) ECMO als Rescue-Therapie gestellt werden. Eine Zusammenfassung der Verletzungsmuster der 3 Patienten ist in Tabelle 2 dargestellt.

Während 2 Patienten ohne Lungenzerreiung ein schweres ARDS entwickelten, war es bei dem 3. Patienten zu einem rechtsseitigen Hauptbronchusabriss gekommen. Die Oberlappenmanschettenresektion musste aufgrund der schlechten Lungenfunktion an der ECMO erfolgen.

Die Indikation für die extrakorporale Zirkulation wurde entsprechend den „fast entry“-Einschlusskriterien der US-ECMO-Studie von 1979 [24] gestellt. Als „fast entry“ gilt eine akute, kritisch eingeschränkte Oxygenierung (paO_2/FiO_2 -Ratio < 50 mmHg) unter optimierter konservativer Beatmungstherapie für mehr als 2 Stunden. Die Maßnahmen wurden als Rescue-Therapie bei manifester Hypoxie eingeleitet.

Technik der extrakorporalen Membranoxygenierung

Die veno-arterielle ECMO bestand aus einem heparinbeschichteten Schlauchsystem (Carmeda®, Medtronic), das ebenso wie die übrigen Teile (Zentrifugalpumpe, Medtronic; Oxygenator mit integriertem Wärmetauscher, Maquet Quadrox D) mit kovalent gebundenem Heparin (Bioline® Coating) beschichtet wurde. Das System wurde mit kristalliner Infusionslösung als Priming vorgefüllt. Der Anschluss der Patienten an das System erfolgte chirurgisch

mit einer Drainagekanüle über die Femoralvene im rechten Vorhof und einer kurzen, rückführenden Kanüle in der Femoralarterie. Die Durchblutung des Beines mit liegender arterieller Kanüle (Gefahr der Obstruktion des Blutflusses ins Bein mit konsekutiver Beinischämie!) wurde über eine an einem Sideport der Perfusionskanüle angeschlossene und nach distal gerichtete 6-French-Gefäßschleuse (B. Braun Melsungen) gewährleistet (Abb. 1A). Unter der ECMO erfolgte die weitere bedarfsgesteuerte Gabe von Blutprodukten.

Nach Etablierung der extrakorporalen Zirkulation wurde die Aggressivität der mechanischen Beatmung im Sinne der optimalen Lungenprotektion reduziert. Hierbei wurde die FiO_2 auf 0,4 reduziert. Der PEEP wurde im Mittel auf 18 mbar und der maximale Beatmungsdruck im Mittel auf 28 mbar eingestellt. Während der ECMO wurde eine Blutflussrate von 4–4,5 l/min angestrebt. Arterieller Druck, Harnausscheidung, Laktatspiegel, gemischtvenöse und periphere Sauerstoff-

sättigung sowie Herzzeitvolumen dienten der Steuerung des adäquaten Blutflusses. Durch Verwendung eines komplett heparinbeschichteten ECMO-Systems konnte auf eine für die polytraumatisierten Patienten kontraindizierte hochdosierte Vollheparinisierung verzichtet werden. Wir führten eine systemische Heparinisierung von etwa 150–250 IU/kgKG/Tag durch, um eine Activated Clotting Time (ACT) von 110–140 sec zu erreichen. Unter engmaschiger Kontrolle der Gerinnungsparameter kam es in keinem Fall zu blutungsbedingten oder thrombembolischen Komplikationen. Eine paO_2/FiO_2 -Ratio von > 200 mmHg unter normalisierter Beatmungstherapie bei schrittweiser ECMO-Pumpenfluss-Reduktion auf 1,0 l/min war das Kriterium zur Entwöhnung von der extrakorporalen Zirkulation.

Veno-veno-arterielle ECMO

Bei einem Patienten musste unmittelbar nach Implantation der veno-arteriellen ECMO zu einer veno-veno-arteriellen ECMO übergegangen werden. In diesem Fall (Patient 3) zeigte die arterielle Blutgasanalyse aus der rechten A. radialis trotz problemloser Funktion der ECMO und ausreichendem Blutdruck eine O_2 -Sättigung von lediglich 66 %. Um die Oxygenierung der oberen Körperhälfte, insbesondere des Gehirns sowie des Herzens, zu gewährleisten, wurde die Konversion der VA-ECMO in V-VA-ECMO mittels Anlage einer Verbindung zwischen dem arteriellen ECMO-Schenkel und der rechtsseitigen V. subclavia in Seldinger-Technik vorgenommen. Hierbei wurde der arterialisierte Blutfluss

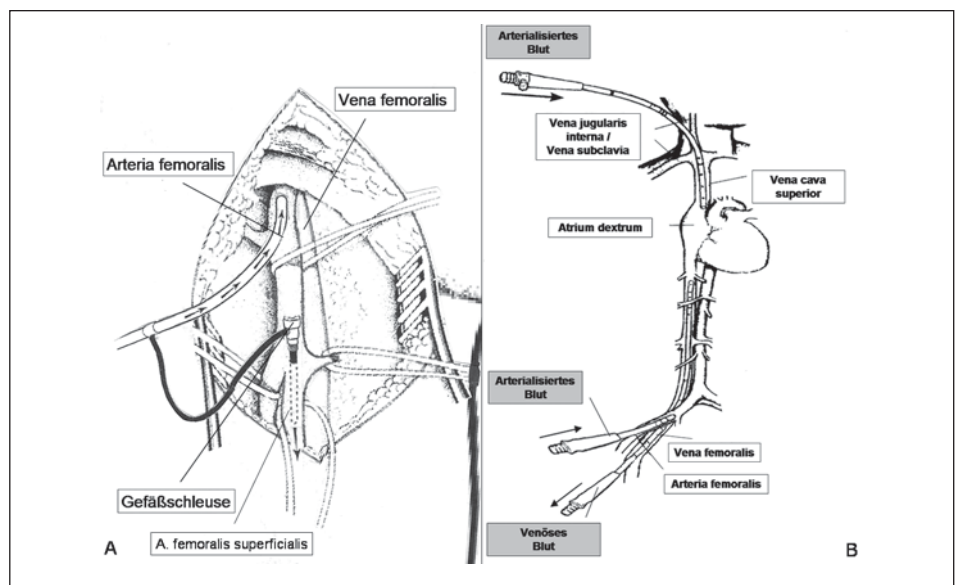


Abb. 1: Einsatz einer nach distal gerichteten Gefäßschleuse zur antegraden Beinperfusion (A). Skizze der veno-veno-arteriellen ECMO (B). Der Rückfluss wird über die V. femoralis eingeführt. Das oxygenierte Blut fließt parallel in die obere Hohlvene und Femoralarterie zurück.

nach Passage des Oxygenators an einem Y-Stück aufgeteilt und durch zwei parallel angeordnete Schenkel in die V. subclavia und A. femoralis geleitet (Abb. 1B). Sofort nach Freigabe der Perfusion des V.-subclavia-Schenkels war ein Anstieg der O₂-Sättigung auf Werte über 95 % zu beobachten.

ERGEBNISSE

Alle Patienten überlebten die Therapie und konnten nach im Mittel 37 ± 23 Tagen in die Rehabilitationskliniken entlassen werden. Die ECMO-Therapie wurde im Mittel über 114 ± 27 h durchgeführt. Die Parameter der pulmonalen Oxygenierung (paO₂/FiO₂-Ratio, PaO₂, PaCO₂, pH) sowie die Compliance bis 24 h nach ECMO-Therapie sind in Abbildung 2 getrennt nach Patient dargestellt. Am ausgeprägtesten war die Verbesserung der paO₂/FiO₂-Ratio. Hier fanden sich Verbesserungen zwischen Einschlusszeitpunkt und 24 h nach Stopp der ECMO-Therapie von 45,7 ± 5,5 auf 231,3 ± 15,5 mmHg. Die pH-Werte, O₂- und CO₂-Partialdrückesowie die Lungen-Compliance normalisierten sich langsam unter Anwendung der veno-arteriellen ECMO (s. Abb. 2). Komplikationen, die mit der extrakorporalen Zirkulation assoziiert gewesen wären, traten nicht auf.

Patienten häufig kontraindiziert ist, war früher (bis Ende der 80er Jahre) verantwortlich für die Hauptkomplikationen des ECMO-Einsatzes. Durch Einführung der Heparinbeschichtung mit gesteigerter Hämostabilität sowie leistungsfähigerer und weniger bluttraumatisierender Membranoxygenatoren und Zentrifugalpumpen wurde die Anwendung zunehmend sicherer. Mit Weiterentwicklung der Systeme, vereinfachter Anwendung bei geringerer Invasivität sowie gleichzeitig besserem Verständnis der Pathophysiologie des ARDS [7, 9] berichten eine Reihe von Zentren über gute Ergebnisse mit Überlebensraten von mehr als 50 % [10, 14, 15].

Heute stehen uns verschiedene Anwendungsvarianten der extrakorporalen Zirkulation zur Verfügung. Neben der pumpenlosen arterio-venösen (AV-)ECMO (ECLA: Extracorporeal Lung Assist) [1] findet die pumpengetriebene veno-venöse (VV-)ECMO bei ausreichendem Herzzeitvolumen und stabilen hämodynamischen Verhältnissen Anwendung [8, 14]. Bei instabilen Kreislaufverhältnissen ist das Standardverfahren die veno-arterielle (VA-)ECMO. Diese Methode wird allerdings in der Literatur neben einer höheren Komplikationsrate und Invasivität (arterielle Kanülierung)

aggressive mechanische Beatmungstherapie ein erhöhter pulmonaler Gefäßwiderstand vor. Dies kann zusätzlich durch eine dekompensierte oder permissive Hyperkapnie mit niedrigem paO₂ und höherem paCO₂ zu einer weiteren Steigerung des pulmonalarteriellen Hypertonus mit einer nicht zu unterschätzenden Rechtsherzbelastung führen. Aus letztgenannten Punkten sowie durch die in der Akutphase ggf. notwendige Massentransfusion und Volumenüberladung kann eine schwere Rechtsherzinsuffizienz bis Rechtsherzversagen resultieren [2, 4, 17]. Erschwerend kommt hinzu, dass bei einer Vielzahl von polytraumatisierten Patienten eine Myokardkontusion häufig unbemerkt bleibt. So variiert die Inzidenz der Contusio cordis nach Thoraxtrauma in der Literatur zwischen 8 und 75 % [13]. Komplikationen wie potenziell letale Arrhythmien, kardiogener Schock, Herzruptur, Myokardinfarkt und Klappenverletzungen, die im weiteren Verlauf ursächlich für den fatalen Ausgang bei vielen polytraumatisierten Patienten sind, werden wiederholt beobachtet [3, 11, 19, 20].

Bei einem Patienten wurde aufgrund der unzureichenden Oxygenierung und zur Vermeidung einer myokardialen sowie zerebralen Hypoxie die Konversion des VA-Systems und Erweiterung um die V-VA-ECMO vorgenommen. Hierunter war unmittelbar nach Freigabe der Zirkulation eine adäquate Sauerstoffversorgung des Patienten gewährleistet. Die veno-veno-arterielle ECMO ist außerdem eine mögliche Therapieoption für Patienten mit eingeschränkter kardialer Pumpfunktion, wenn eine präpulmonale Oxygenierung erwünscht oder ein Wechsel von VV- auf VA-ECMO aus kardialen Gründen zwingend notwendig ist.

Häufig stellen polytraumatisierte ARDS-Patienten mit ihren schweren Begleitverletzungen aufgrund der notwendigen Antikoagulation unter ECMO-Therapie eine Kontraindikation für diese Maximaltherapie dar. Durch Einsatz von heparinbeschichteten Systemen kann heute eine Kreislaufunterstützung mit minimaler systemischer Antikoagulation durchgeführt werden. Der Verzicht auf die Vollheparinisierung ermöglicht den Einsatz auch bei Trauma-Patienten, bei denen eine erhöhte Blutungsgefahr besteht oder eine heparininduzierte Blutung fatale Folgen hätte (Patienten mit Schädelhirntrauma). Allerdings setzt eine subtherapeutische Antikoagulation mit niedrigen ACT-Gerinnungszeiten eine noch genauere sowie engmaschigere Kontrolle und Untersuchung des Systems auf eventuelle Thrombenbildung voraus.

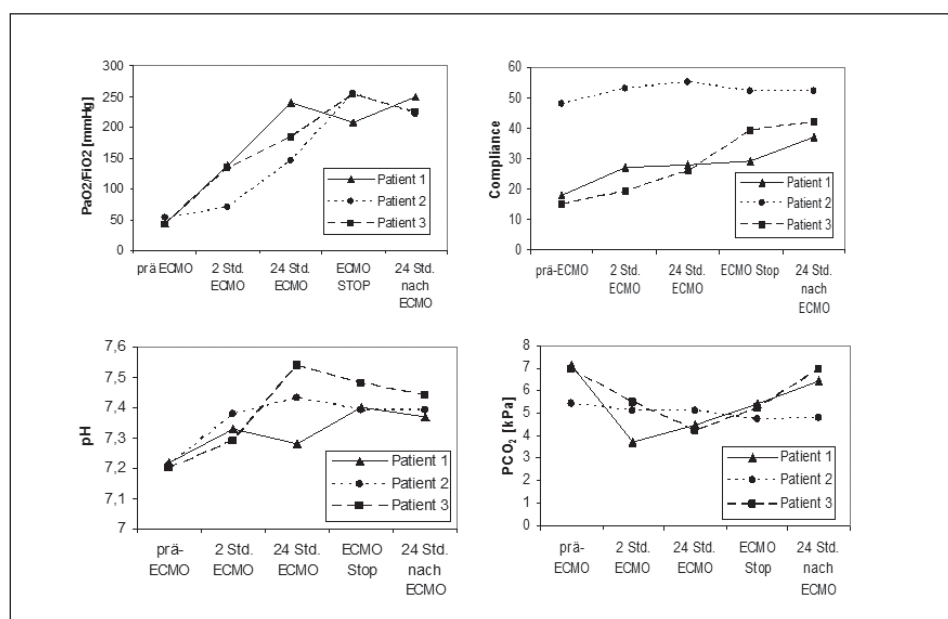


Abb. 2: Gasaustauschparameter (PaO₂/FiO₂-Ratio, PO₂, pH) sowie Compliance während der ECMO-Therapie

DISKUSSION

Obwohl die ECMO als Lungenersatzverfahren in der Therapie des ARDS seit den frühen 80er Jahren weltweit eingesetzt wird, ist ihr Stellenwert nach wie vor Gegenstand heftiger Diskussionen [10, 14, 16, 23, 24]. Die Notwendigkeit einer ausreichenden systemischen Heparinisierung, die bei den schwerst polytraumatisierten

vor allem aufgrund der möglichen ischämischen Schädigung der Lunge kritisiert, auch wenn der wissenschaftliche Beweis dafür fehlt.

Wir setzten bei unseren schwerst polytraumatisierten Patienten aus folgendem Grund die VA-ECMO ein: Häufig liegt bei Patienten mit einem akuten therapierefraktären Lungenversagen bedingt durch die

So traten bei unseren Trauma-Patienten unter engmaschiger Kontrolle der Gerinnungsparameter und ACT keine ECMO-assoziierten Blutungskomplikationen auf und sie konnten schrittweise von der ECMO entwöhnt werden. Es ist an dieser Stelle jedoch kritisch anzumerken, dass sich die kleine Fallzahl in der vorliegenden Arbeit limitierend auf die Ergebnisse dieser Fallserie auswirkt. Nichtsdestotrotz bleibt der Einsatz der ECMO eine Rescue-Therapie nur bei ausgesuchten Patienten und in konservativ nicht beherrschbaren Fällen.

FAZIT FÜR DIE PRAXIS

Die ECMO stellt bei Patienten mit posttraumatischem Lungenversagen eine effektive Maßnahme zur Therapie der Hypoxämie und/oder Hyperkapnie in Extremsituationen dar. Die Verwendung von heparinbeschichteten Systemen sowie die Einhaltung einer subtherapeutischen Antikoagulation mit ACT-Werten von 110–140 sec unter Kontrolle der Gerinnungsparameter sowie engmaschiger Überprüfung des ECMO-Systems auf Thrombenbildung führt zur Reduktion von Komplikationen. Unter diesen Aspekten sollte eine Verlegung in ein Zentrum der Maximalversorgung bei derartigen Patienten frühzeitig erwogen werden.

LITERATUR

- [1] Bein T, Prasser C, Philipp A, Müller T, Weber F, Schlitt HJ, Schmid F-X, Taeger K, Birnbaum D: Pumpenfreie extrakorporale Lungenunterstützung mit arteriovenösem Shunt beim schweren akuten Lungenversagen des Erwachsenen – Bericht über 30 Einsätze. *Anaesthesist* 2004; 53(9): 813–819
- [2] Benzing A, Mols G, Beyer U, Geiger K: Large increase in cardiac output in a patient with ARDS and acute right heart failure during inhalation of nitric oxide. *Acta Anesthesiol Scand* 1997; 41: 643–646
- [3] Bircks W, Körfer R: Traumatic mitral incompetence: Long-term results in three patients. *J Cardiovasc Surg* 1978; 19: 557–561
- [4] Fierobe L, Brunet F, Dhainaut JF, Monchi M, Belghith M, Mira JP, Dall'ava-Santucci J, Dinh-Xuan AT: Effect of inhaled nitric oxide on right ventricular function in adult respiratory distress syndrome. *Am J Resp Crit Care Med* 1995; 151: 1414–1419
- [5] Gattinoni L, Tognoni G, Pesenti A, Toccone P, Mascheroni D, Labarta V, Malacrida R, Di Diulio P, Fumagalli R, Pelosi P, Brazzi L, Latini R: Effect of prone positioning on the survival of patients with acute respiratory failure. *N Engl J Med* 2001; 345: 568–573
- [6] Knothe C, Huber T, Hiltl P, Regel G, Bayeff-Filloff M: Beatmung nach dem Open-Lung-Konzept bei polytraumatisierten Patienten. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2000; 35: 306–315
- [7] Kollef MH, Schuster DP: The acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 1995; 332: 27–37
- [8] Kopp R, Henzler D, Dembinski R, Kühlen R: Extrakorporale Membranoxygenierung beim akuten Lungenversagen. *Anaesthesist* 2004; 53: 168–174
- [9] Lewandowski K: Epidemiologie und Pathophysiologie des akuten Lungenversagens. *Intensivmedizin* 2001; 38: 426–436
- [10] Lewandowski K, Rossaint R, Pappert D, Gerlach H, Slama KJ, Weidemann H, Frey DJM, Hoffmann O, Keske U, Falke KJ: High survival rate in 122 ARDS patients managed according to a clinical algorithm including extracorporeal membrane oxygenation. *Intensiv Care Med* 1997; 23: 819–835
- [11] Liedtke AJ, De Muth WE: Non-penetrating cardiac injuries: A collective review. *Am Heart J* 1973; 86: 687–697
- [12] Lundin S, Mang H, Smithies M, Steqvist O, Frostell C: Inhalation of nitric oxide in acute lung injury: results of a European multicenter study. *Intensive Care Med* 1999; 25: 911–919
- [13] Macdonald RC, O'Neill D, Hanning CD, Ledingham IM: Myocardial contusion in blunt chest trauma: A ten-year review. *Intens Care Med* 1981; 7: 265–268
- [14] Manert W, Haller M, Briegel J, Hummel T, Kilger E, Polasek J, Forst H, Peter K: Venovenöse extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) mit heparinbeschichtetem Bypass-System. Eine effektive Erweiterung bei der Behandlung des akuten Lungenversagens (ARDS). *Anaesthesist* 1996; 45: 437–448
- [15] Mols G, Loop T, Hermle G, Buttler J, Huber B, Schubert J, Benzing A: Zehn Jahre Erfahrung mit extrakorporaler Membranoxygenierung (ECMO). *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 2001; 36: 4–14
- [16] Müller E: Pro: Hat ECMO eine Zukunft? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1997; 32: 635–637
- [17] Navarrete-Navarro P, Rodriguez A, Reynolds N, West R, Rivera R, Scalea T: Acute respiratory distress syndrome among trauma patients: trends in ICU mortality, risk factors, complications and resource utilization. *Intensive Care Med* 2001; 27: 1133–1144
- [18] Rossaint R, Gerlach H, Schmidt RH, Papper D, Lewandowski K, Steudel W, Falke K: Efficacy of inhaled nitric oxide in patients with severe ARDS. *Chest* 1995; 107: 1107–1115
- [19] Shorr RM, Crittenden M, Indeck M, Hartunian SL, Rodriguez A: Blunt thoracic trauma. Analysis of 515 patients. *Ann Surg* 1987; 205(2): 200–205
- [20] Snow N, Richardson JD, Lweis MF: Myocardial contusion: Implications for patients with multiple traumatic injuries. *Surgery* 1982; 82: 743–750
- [21] Stilleto R, Gotzen L, Goubeaud S: Kinetische Therapie zur Therapie und Prophylaxe der posttraumatischen Lungeninsuffizienz. *Unfallchirurg* 2000; 103: 1057–1064
- [22] Suchyta MR, Orme JF, Morris AH: The changing face of organ failure in ARDS. *Chest* 2003; 124: 1871–1879
- [23] Sydow M: Kontra: Hat die extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) eine Zukunft? *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 1997; 32: 632–634
- [24] Zapol W, Snider M, Hill J, Fallat R, Bartlett R, Edmunds L, Morris A, Peirce E, Thomas A, Rector P, Drinker P, Pratt P, Bagniewski A, Miller R: Extracorporeal membrane oxygenation in severe acute respiratory failure. A randomized prospective study. *JAMA* 1979; 242: 2193–2196
- [25] Zwissler B, Kemming G, Habler O, Kleen M, Merkel M, Haller M, Briegel J, Welte M, Peter K: Inhaled prostacyclin (PGI₂) vs. Inhaled nitric oxide in adult respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154: 1671–1677

Dr. med. Navid Madershahian
Klinik für Herz- und Thoraxchirurgie
Klinikum der Universität zu Köln
Kerpener Straße 62
50935 Köln
Telefon: +49 (0)221-478 6043
Fax: +49 (0)221-478 5906
E-Mail: navid.madershahian@web.de