

COMPENDIUM OF EVIDENCE 5.2



- iLA[®]
- iLA active[®]
- iLA[®] & HFOV
- Vision α [®] HFOV
- Algorithmen
- Mechanische Beatmung
- Mobilisation

NEU:

- H1N1
- Pflege & Management
- Mobilisation



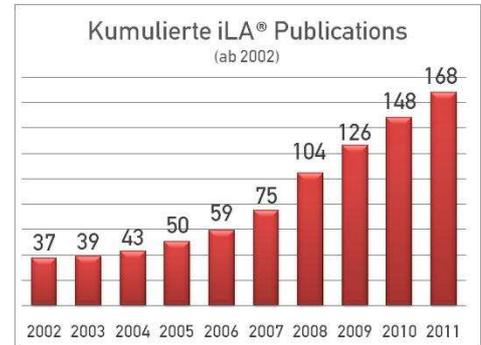
Novalung GmbH

Aktualisiert: August 2011



→ **VORBEMERKUNG**

Über 500 relevante wissenschaftliche Artikel sind zur Therapie mit iLA[®] und Vision α [®] erschienen. Diese beschreiben verschiedene Behandlungsbereiche und Indikationen. Um Ihnen einen Einblick in die aktuelle wissenschaftliche Evidenzgrundlage zu bieten, enthält das vorliegende Compendium 5.2 eine Auswahl der jüngsten und/oder interessantesten Veröffentlichungen. Jeder der hier aufgeführten Artikel wird über ein kurzes Abstract bzw. eine Zusammenfassung vorgestellt, damit Sie sich schnell einen Überblick verschaffen können.



Die stetig wachsende Anzahl an wissenschaftlichen Veröffentlichungen zeigt die zunehmende Bedeutung der iLA[®] als innovative Therapielösung für das Lungenversagen. Eine iLA[®] Therapie deckt die gesamte Bandbreite der Lungenunterstützung ab, von effizienter CO₂ Entfernung bis zur vollständigen Oxygenierung:

iLA[®]					
Therapie:	iLA Membranventilator [®]	iLA Active [®]			
Hauptfunktion:	CO ₂ Entfernung + Lungenprotektion	CO ₂ Entfernung + Lungenprotektion	CO ₂ Entfernung + Lungenprotektion + Oxygenierungssupport	CO ₂ Entfernung + Lungenprotektion + Oxygenierung	CO ₂ Entfernung + Lungenprotektion + Oxygenierung
Gefäßanschluss:	arteriovenös	venovenös	venovenös	venovenös	venovenös
Membranventilator:	iLA [®]	MiniLung [®] petite	MiniLung [®]	iLA [®]	XtraLung [®]
Kanülierung:	NovaPort [®] one	NovaPort [®] twin	NovaPort [®] twin	NovaPort [®] twin oder NovaPort [®] one (+ Drainagekanüle)	NovaPort [®] one (+ Drainagekanüle)
Pumpengetrieben:	nein	ja	ja	ja	ja
Synonyme:	PECLA, AVCO ₂ R	ECCO ₂ R	ECCO ₂ R, (ECMO)	ECCO ₂ R, ECMO	ECMO

Darüber hinaus enthält dieses Compendium die wichtigsten Veröffentlichungen zum Vision α [®] Hochfrequenzbeatmungsgerät (HFOV).

→ Auf Wunsch senden wir Ihnen gerne die Volltextartikel sowie eine vollständige Literaturliste zu. Senden Sie uns bitte eine E-Mail mit Ihren jeweiligen Wünschen an folgende Adresse: info@novalung.com.



iLA active[®]

Vision α [®]
HFOV



INHALT

1. iLA [®] : PUMPENLOS (AV)	7
1.1. COPD (Status asthmaticus).....	7
1.2. Weaning	11
1.3. ARDS	13
1.4. H1N1.....	20
1.5. Atem- und Intensivtherapie bei iLA [®] -Patienten	24
1.6. Schädel-Hirn-Trauma.....	29
1.7. Überbrückung zur Lungentransplantation.....	34
1.8. Transport	38
1.9. Thoraxchirurgie	45
1.10. Pflege & Management.....	50
1.11. Untypische Anwendungsgebiete	52
1.12. Diverse Anwendungen.....	57
2. iLA ACTIVE [®] : PUMPENBETRIEBEN (VV, VA)	62
3. iLA [®] & HFOV.....	67
4. VISION α [®] HFOV	75
4.1. Allgemein	75
4.2. ARDS	77
4.3. Verbrennungen.....	93
4.4. Atemtherapie	97
4.5. Schädel-Hirn-Trauma.....	111
5. ALGORITHMEN.....	113
6. MECHANISCHE BEATMUNG	118
7. MOBILISATION	128
8. KONTAKT	132



1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]: PUMPENLOS (AV)

1.1 COPD (Status asthmaticus)

The Intensive Care Society, 2011, 12 (2): 2–4

Rescue of acute refractory hypercapnia and acidosis secondary to lifethreatening asthma with extracorporeal carbon dioxide removal (ECCO₂R)

(Rescue-Therapie der akuten refraktären Hyperkapnie und Azidose infolge von lebensbedrohlichem Asthma mittels extrakorporaler Kohlendioxidelimination [ECCO₂R])

Lobaz, S.; Carey, M.

Assistenzarzt in Weiterbildung im Fach Anästhesie, 4. Jahr, Royal Victoria Infirmary, Newcastle upon Tyne, England; Facharzt für Anästhesie und Intensivmedizin, James Cook-Universitätsklinikum, Middlesbrough, England

Es wird über einen Fall mit lebensbedrohlichem Asthma berichtet, das mit einer ausgeprägten Hyperkapnie und Azidose einherging und refraktär gegenüber konventioneller Behandlungen war, jedoch mittels eines Geräts zur extrakorporalen Kohlendioxidelimination (ECCO₂R) [iLA Membranventilator[®]] erfolgreich behandelt werden konnte. In Großbritannien ist ECCO₂R nach wie vor nicht allgemein verfügbar, und es gibt nur wenige Intensivmediziner und Anästhesisten, die mit deren Anwendung in der intensivmedizinischen Routine Erfahrung haben. Die extrakorporale CO₂-Elimination könnte bei der Behandlung von lebensbedrohlichem Asthma, der Prävention von Todesfällen und der Verbesserung der allgemeinen Behandlungsergebnisse eine Rolle spielen.

FAZIT: [...] Es wurde gezeigt, dass das iLA-System von Novalung auch ohne vorherige Erfahrung mit dem Gerät (auch wenn diese empfohlen wird) sicher und effektiv angewendet werden kann. Ein erhöhtes Bewusstsein für den Nutzen der ECCO₂R als Rescue-Therapie bei lebensbedrohlichem Asthma, das refraktär gegenüber der konventionellen Therapie ist, könnte Leben retten. Bei vermehrter Anwendung und erhöhter Verfügbarkeit könnten extrakorporale Techniken (Kasuistiken, Volume 12, Nr. 4, 2. April 2011, JICS) dazu beitragen, die statische Mortalitätsrate von Asthma, das im Durchschnitt nach wie vor über 1.300 Todesopfer in England fordert, zu reduzieren.

Dies wirft die Frage auf, ob eine formale multizentrische, randomisierte, kontrollierte Studie zur Anwendung der ECCO₂R bei Asthma erforderlich oder praktikabel ist. Wenn sich die Technik als effektiv erweist, sollten Regionalkrankenhäuser mit ECCO₂R-Geräten einen Rescue-Service für Bezirkskrankenhäuser anbieten, und wäre dies insgesamt eine kosteneffektive Maßnahme für eine teure und begrenzt verfügbare Ressource?

Es besteht die Hoffnung, dass Verbesserungen der Techniken und Materialien für den Gefäßzugang zukünftig die Sicherheit der ECCO₂R verbessern und assoziierte Komplikationen reduzieren werden. Darüber hinaus bietet Novalung in Kürze ein neues veno-venöses iLA-Gerät (iLa activve[®]) an, das CO₂-Elimination und Oxygenierung am Krankenbett in einem Gerät kombiniert. 11 Ergebnisse stehen noch aus.

<http://journal.ics.ac.uk/pdf/1202140.pdf>

Der Anaesthesist, 2010, S: 1-5, DOI: 10.1007/s00101-010-1699-5

Status asthmaticus: Stellenwert extrakorporaler Lungenunterstützungsverfahren

Aniset, L.; Kalenka, A.

Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin, Universitätsmedizin Mannheim, Deutschland, Klinik für Anästhesie und Intensivtherapie, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH – Standort Marburg, Deutschland

Es wird über die erfolgreiche Anwendung eines pumpenlosen extrakorporalen Lungen-Assist-Verfahrens („interventional lung assist“ [iLA Membranventilator[®]]) im therapierefraktären Status asthmaticus bei drei Patientinnen nach Ausschöpfung konservativer Therapiemaßnahmen berichtet. Nach einer individuellen Risiko-Nutzen-Abwägung kann ein derartiges Verfahren als Überbrückung zur Reduktion der Beatmungsinvasivität eingesetzt werden. Aufgrund seiner Komplexität sollte es nur in entsprechenden Zentren mit ausreichender Erfahrung im Umgang mit extrakorporalen Lungenunterstützungsverfahren angewandt werden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20224950>

Critical Care Medicine, 2007, 35: 945–8

Pumpless extracorporeal carbon dioxide removal for life-threatening asthma

(Pumpenlose extrakorporale Kohlendioxidelimination bei lebensbedrohlichem Asthma)

Elliot, S. C.; Paramasivam, K.; Oram, J.; Bodenham, A. R.; Howell, S. J.; Mallick, A.
Leeds Teaching Hospitals NHS Trust, Abteilung für Anästhesie, Allgemeines Krankenhaus Leeds, Leeds, Großbritannien

ZIEL: Ziel ist es, über die Anwendung der pumpenlosen extrakorporalen Kohlendioxidelimination [iLA Membranventilator[®]] bei zwei Fällen von akutem schwerem Asthma zu berichten.

DESIGN: Kasuistiken.

UMGEBUNG: Allgemeine Intensivstation für Erwachsene, Allgemeines Krankenhaus Leeds, Leeds, Großbritannien.

PATIENTEN: Ein 74-jähriger Mann und eine 52-jährige Frau mit lebensbedrohlichem Asthma entwickelten eine progressive Hyperkapnie und schwere Azidose, die auf keine einzige Therapie ansprachen.

INTERVENTION: Initiierung der extrakorporalen arteriovenösen Kohlendioxidelimination mit dem iLA Membranventilator[®]

ERGEBNISSE: Durch Ergänzung der mechanischen Beatmung durch extrakorporale Kohlendioxidelimination wurden die Hyperkapnie und Azidose korrigiert, sodass andere unterstützende Maßnahmen reduziert werden konnten. In beiden Fällen wurde ein adäquater Gasaustausch aufrechterhalten, bis sich die zugrunde liegende Erkrankung ausreichend gebessert hatte und das Gerät entfernt werden konnte. Beide Patienten wurden anschließend von der mechanischen Beatmung entwöhnt und genesen vollständig.

FAZIT: Die extrakorporale Kohlendioxidelimination erwies sich als wertvolle Ergänzung zur mechanischen Beatmung und anderen Therapieformen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17255862>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.2. Weaning

Intensive Care Medicine, 2008

Successful extubation of an “unweanable” patient with severe ankylosing spondylitis (Bechterew’s disease) using a pumpless extracorporeal lung Assist

(Erfolgreiche Extubation eines nicht entwöhnbaren Patienten mit schwerer Spondylitis ankylosans (Morbus Bechterew) mithilfe der pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützung)

Bein, T.; Wittmann, S.; Philipp, A.; Nerlich, M.; Kühnel, T.; Schlitt, H. J.

Es wird über die Anwendung eines neuen pumpenlosen, arteriovenösen, extrakorporalen, interventionellen Lungenunterstützungssystems [iLA Membranventilator[®]] bei einem Patienten mit schwerer Spondylitis ankylosans berichtet, der aufgrund von Abdominalschmerzen und radiologischen Anzeichen freier intraperitonealer Luft einer Laparotomie unterzogen wurde. Die postoperative Phase wurde verkompliziert durch eine Peritonitis und Pneumonie, die eine prolongierte mechanische Beatmung erforderlich machten. Trotz der Anwendung standardisierter Weaning-Protokolle führte die Entwöhnung von der mechanischen Beatmung zu Tachypnoe und progressiver Hyperkapnie sowie respiratorischer Azidose. Daher wurde der iLA Membranventilator[®] zur CO₂-Elimination angewendet, um die Entwöhnung und Extubation zu erleichtern. Durch die Behandlung mit dem iLA Membranventilator[®] wurde eine ausreichende extrakorporale CO₂-Elimination erzielt. Am ersten Tag der Therapie konnte dank erhöhter Spontanatmungsaktivität die Ventilatorunterstützung deeskaliert werden. Die künstliche Atemunterstützung wurde zwei Tage nach Therapiebeginn mit dem iLA Membranventilator[®] beendet. Der iLA Membranventilator[®] wurde 13 Tage nach seiner Implementierung ausgeschaltet und die Kanülen wurden herausgezogen. Während der Therapie kam es zu keinen Komplikationen (Blutung, Ischämie). Der Patient erholte sich stetig unter Atmung von Raumluft. Der Tubus konnte entfernt werden und der Patient wurde auf eine allgemeine Station verlegt. Die Strategie der pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützung zur CO₂-Elimination erwies sich bei einem Patienten mit Weaning-Versagen aufgrund eines schweren akuten Schubs einer chronischen Lungenfunktionsstörung (Morbus Bechterew) als erfolgreich.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18661121>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.3. ARDS

Anaesthesia, 2009, 64: 195–8

Pumpless extracorporeal removal of carbon dioxide combined with ventilation using low tidal volume and high positive end-expiratory pressure in a patient with severe acute respiratory distress syndrome

(Pumpenlose extrakorporale Kohlendioxidelimination in Kombination mit Beatmung mit geringem Tidalvolumen und hohem positivem endexpiratorischem Druck bei einem Patienten mit schwerem akutem progressivem Lungenversagen)

Bein, T.; Zimmermann, M.; Hergeth, K.; Ramming, M.; Rupprecht, L.; Schlitt, H. J.; Slutsky, A. S.
Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg, Deutschland

Es werden die Wirkungen einer Lungenbeatmung mit geringstmöglichem Tidalvolumen in Kombination mit extrakorporaler Kohlendioxidelimination mittels eines interventionellen Lungenunterstützungssystems [iLA Membranventilator[®]] bei einem Patienten mit schwerem akutem progressivem Lungenversagen aufgrund einer fulminanten Pneumonie beschrieben. Die Senkung des Tidalvolumens auf 3 ml/kg zusammen mit interventioneller Lungenunterstützung führte zu einer Reduktion der schweren Hyperkapnie ohne alveolären Kollaps oder Hypoxämie, jedoch mit einer Senkung des Interleukin-6-Spiegels im Serum. Diese Methode wurde über 12 Tage angewendet und führte zu einer Genesung des Patienten ohne Komplikationen. Die extrakorporale Kohlendioxidelimination durch den iLA Membranventilator[®] kann ein nützliches Hilfsmittel sein, um eine „ultraprotektive“ Beatmung beim schweren akuten progressiven Lungenversagen zu ermöglichen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19143699>

The European Respiratory Journal, 2009, 33: 551–8

Extracorporeal pumpless interventional lung assist in clinical practice: determinants of efficacy

(Die extrakorporale pumpenlose interventionelle Lungenunterstützung in der klinischen Praxis: Bestimmungsgrößen für die Wirksamkeit)

Müller, T.; Lubnow, M.; Philipp, A.; Bein, T.; Jeron, A.; Luchner, A.; Rupprecht, L.; Reng, M.; Langgartner, J.; Wrede, C .E.; Zimmermann, M.; Birnbaum, D.; Schmid, C.; Riegger, G. A.; Pfeifer, M.
Klinik und Poliklinik für Innere Medizin II, Universitätsklinikum Regensburg, Franz-Josef-Strauß-Allee 11, Regensburg, Deutschland

Respiratorische Azidose kann sich bei der protektiven Beatmung bei schwerem Lungenversagen zu einem ernsten Problem entwickeln. Zunehmend wird ein pumpenloses, arteriovenöses, interventionelles Lungenunterstützungssystem [iLA Membranventilator[®]] zur extrakorporalen Kohlendioxidelimination angewendet, um kritische respiratorische Situationen unter Kontrolle zu halten. Die vorliegende Studie hatte zum Ziel, die Bestimmungsgrößen für die Wirksamkeit des iLA Membranventilators[®] zu evaluieren und dessen Beitrag zum Gasaustausch zu ermitteln. In einer Kohorte von 96 Patienten mit schwerem akutem progressivem Lungenversagen wurden hämodynamische Parameter, Sauerstoffverbrauch und Kohlendioxidproduktion sowie Gastransport durch den iLA Membranventilator[®] analysiert. Die Messwerte zeigten eine signifikante Abhängigkeit des Blutflusses durch den iLA Membranventilator[®] von der Kanülengröße (Mittel +/- Standardabweichung: 1,59 +/-0,52 l/Min. bei 15 French (Fr.); 1,94 +/-0,35 l/Min. bei 17 Fr. und 2,22 +/-0,45 l/Min. bei 19 Fr.) und dem mittleren arteriellen Druck. Die Sauerstofftransportkapazität betrug durchschnittlich 41,7 +/-20,8 ml/Min., die Kohlendioxidelimination lag bei 148,0 +/-63,4 ml/Min. Innerhalb von zwei Stunden unter Behandlung mit dem iLA Membranventilator[®] nahm der Quotient aus arteriellem Sauerstoff-Partialdruck und inspiratorischer Sauerstoffkonzentration signifikant zu und die Werte für den arteriellen Kohlendioxid-Partialdruck und pH besserten sich schnell. Die interventionelle Lungenunterstützung eliminiert circa 50 % der berechneten Gesamt-Kohlendioxidproduktion mit rascher Normalisierung der respiratorischen Azidose. Trotz des begrenzten Beitrags zum Sauerstofftransport kann diese eine protektivere Beatmung beim schweren Lungenversagen ermöglichen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19010979>

Critical Care, 2009, 13: R10

Pumpless extracorporeal interventional lung assist in patients with acute respiratory distress syndrome: a prospective pilot study
(Pumpenlose, extrakorporale, interventionelle Lungenunterstützung bei Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen: eine prospektive Pilotstudie)

Zimmermann, M.; Bein, T.; Arlt, M.; Philipp, A.; Rupprecht, L.; Müller, T.; Lubnow, M.; Graf, B. M.; Schlitt, H. J. *Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg, Deutschland*

EINLEITUNG: Bei Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen (ARDS) wird ein pumpenloses interventionelles Lungenunterstützungssystem [iLA Membranventilator®] mit dem Ziel angewendet, den extrakorporalen Gasaustausch mithilfe einer Membran, die in einen passiven arteriovenösen Shunt eingeschaltet ist, zu verbessern. In früheren Studien wurden Anwendbarkeit und Sicherheit des iLA Membranventilators® bereits nachgewiesen, doch es wurde kein Überlebensvorteil verzeichnet. In der vorliegenden Pilotstudie wurde die Hypothese geprüft, dass die rechtzeitige Anwendung des iLA Membranventilators® unter Verwendung klarer Algorithmen und einer verbesserten Kanülierungstechnik einen positiven Effekt auf die Komplikationsrate und das Management der lungenprotektiven Beatmung hat.

METHODEN: Der iLA Membranventilator® wurde bei 51 Patienten mit verschiedenen Krankheitsbildern, die die ARDS-Kriterien (gemäß American-European Consensus) erfüllten, mehr als 12 Stunden lang angewendet. Auf die Initiierung der Behandlung mit dem iLA Membranventilator® folgte die Anwendung eines Algorithmus für Screening, sorgfältige Evaluierung und Einführtechnik. Patienten mit Herzinsuffizienz oder schwerer peripherer Gefäßkrankheit wurden als nicht geeignet für den iLA Membranventilator® eingestuft. Die Einführung der arteriellen und venösen Kanüle erfolgt unter Anwendung einer neuen Strategie (Ultraschalluntersuchung der Gefäße durch ein erfahrenes Team und Verwendung von Kanülen mit geringerem Durchmesser). Das Auftreten von Komplikationen und die Wirkungen auf das Tidalvolumen und den inspiratorischen Plateaudruck waren primäre Zielkriterien, die Verbesserung der Oxygenierung und Fähigkeit zur Kohlendioxidelimination hingegen sekundäre Zielkriterien.

ERGEBNISSE: Die Initiierung der Behandlung mit dem iLA Membranventilator® bewirkte eine deutliche Elimination des arteriellen Kohlendioxids und in der Folge eine rasche Senkung des Tidalvolumens (≤ 6 ml/kg) und inspiratorischen Plateaudrucks. Unerwünschte Ereignisse traten bei sechs Patienten auf (11,9 %). Die Mortalitätsrate im Krankenhaus betrug 49 %.

FAZIT: Die Implementierung eines Indikationsalgorithmus für den iLA Membranventilator® beim ARDS im Frühstadium in Kombination mit einer optimierten Anwendungstechnik war mit einer effizienten Kohlendioxidelimination und einem selteneren Auftreten unerwünschter Ereignisse assoziiert. Der iLA Membranventilator® könnte zur extrakorporalen Unterstützung der mechanischen Beatmung dienen, da er ein niedriges Tidalvolumen und einen geringeren inspiratorischen Plateaudruck ermöglicht.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19183475>

Intensive Care Medicine, 2009, 35: 1100–5

Hypercapnia in late-phase ALI/ARDS: providing spontaneous breathing using pumpless extracorporeal lung assist

(Hyperkapnie bei ALI/ARDS im Spätstadium: Spontanisierung mithilfe der pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützung)

Weber-Carstens, S.; Bercker, S.; Hommel, M.; Deja, M.; MacGuill, M.; Dreykluft, C.; Kaisers, U.
Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Charité, Universitätsmedizin
Berlin, Campus Virchow-Klinikum, Campus Mitte, Berlin, Deutschland

ZIEL: Die fibroproliferative Phase des ALI/ARDS-Spätstadiums, wie von Hudson und Hough (Clin. Chest Med., 2006, 27; 671–677) beschrieben, geht mit einer deutlichen Abnahme der Lungen-Compliance sowie einer Hyperkapnie einher, die die mechanische Beatmung mit niedrigem Tidalvolumen erschweren. Es wird über die Wirkungen der extrakorporalen CO₂-Elimination mittels eines neuartigen pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützungssystems [iLA Membranventilator®] auf Tidalvolumen, Atemwegsdruck, Atemmuster und Sedierungsmanagement bei Pneumonie-Patienten in der Spätphase des ARDS berichtet.

DESIGN: Retrospektive Analyse.

UMGEBUNG: 14-Betten-Intensivstation eines Universitätsklinikums.

PATIENTEN: Zehn konsekutive Patienten im ALI/ARDS-Spätstadium mit geringer Lungen-Compliance und schwerer Hyperkapnie

INTERVENTION: Gasaustausch, Tidalvolumen, Atemwegsdruck, Atemmuster und Sedierungsbedarf wurden vor (Baseline) und nach (2 bis 4 Tage) Initiierung der Behandlung mit dem iLA Membranventilator® analysiert. Die Patienten wurden in einem druckkontrollierten Modus beatmet, bei dem der PEEP auf vordefinierte Oxygenierungsziele titriert wurde.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Die mediane Reduktion des pCO₂ lag nach Beginn der Behandlung mit dem iLA Membranventilator® bei 50 %. Die extrakorporale CO₂-Elimination ermöglichte eine signifikante Senkung des Tidalvolumens (auf unter 4 ml/kg vorhergesagtem Körpergewicht) und des inspiratorischen Plateaudrucks [30 cm H₂O, Median, 25. und 75. Perzentil]. Die Normalisierung der pCO₂-Werte erlaubte eine signifikante Reduktion der Dosis von Analgetika und Sedativa. Der Anteil unterstützter Spontanatmung erhöhte sich innerhalb von 24 Stunden nach Beginn der Behandlung mit dem iLA Membranventilator®.

FAZIT: Die Elimination von CO₂ durch die Behandlung mit dem iLA Membranventilator® ermöglichte durch Beatmung mit einem Tidalvolumen von unter 4 ml/kg vorgesehmem Körpergewicht eine Reduktion der beatmungsinduzierten Scherkräfte bei Pneumonie-Patienten mit stark verminderter Lungen-Compliance im Spätstadium des ARDS. Durch die Behandlung mit dem iLA Membranventilator® wurde die Kontrolle des Atemmusters unterstützt, der Sedierungsbedarf reduziert und eine unterstützte Spontanatmung ermöglicht.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19183941>

Anaesthesia, 2008, 63: 1241–4

Clinical experience with a pumpless extracorporeal lung assist device

(Klinische Erfahrungen mit einem pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützungsgerät)

Hammell, C.; Forrest, M.; Barrett, P.
Warrington-Krankenhaus, Warrington, Großbritannien

Es werden drei Patienten mit respiratorischer Insuffizienz präsentiert, bei denen die konventionelle mechanische Lungenbeatmung zu unannehmbar hohen Kohlendioxidspiegeln, schwerer Azidose und einem hohen Bedarf an vasopressorischen Mitteln führte. Ein pumpenloses, arteriovenöses, extrakorporales Gerät zur Kohlendioxidelimination [iLA Membranventilator[®]] wurde angeschlossen. Der arterielle Kohlendioxidspiegel sank rasch ab, einhergehend mit einer Zunahme des pH, einer Reduktion des Bedarfs an vasopressorischen Mitteln und einer Senkung des Inspirationsdrucks. Ein Patient benötigte zusätzlich Unterstützung durch Hochfrequenzbeatmung. Die Anwendung des Geräts war mit keinen Komplikationen assoziiert. Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass die Anwendung eines extrakorporalen Geräts zur Kohlendioxidelimination in einem frühen Stadium des Managements der respiratorischen Insuffizienz, das refraktär gegenüber konventionellen Beatmungstechniken ist, in Erwägung gezogen werden sollte.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18717661>

Critical Care Medicine, 2006, 34: 1372–7

A new pumpless extracorporeal interventional lung assist in critical hypoxemia/hypercapnia

(Ein neues pumpenloses, extrakorporales, interventionelles Lungenunterstützungssystem bei kritischer Hypoxämie/Hyperkapnie)

Bein, T.; Weber, F.; Philipp, A.; Prasser, C.; Pfeifer, M.; Schmid, F. X.; Butz, B.; Birnbaum, D.; Taeger, K.; Schlitt, H. J.

Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg, Deutschland

ZIEL: Bei Patienten mit schwerem akutem progressivem Lungenversagen, bei denen das Risiko einer lebensbedrohlichen Hypoxämie und/oder Hyperkapnie besteht, wird die Anwendung pumpenbetriebener extrakorporaler Systeme zum Gasaustausch empfohlen. Diese sind allerdings mit einem hohen technischen und personellen Aufwand verknüpft.

DESIGN: Es wird retrospektiv über Erfahrungen mit einem neuen pumpenlosen, extrakorporalen, interventionellen Lungenunterstützungssystem [iLA Membranventilator®] berichtet, bei dem ein arteriovenöser Shunt für den treibenden Druck angelegt wurde.

UMGEBUNG: Universitätsklinikum.

PATIENTEN: 90 Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen.

INTERVENTIONEN: Der iLA Membranventilator® wurde bei 90 Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen implantiert.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Zwei und 24 Stunden nach Implementierung des Systems wurden die Verbesserung der Oxygenierung, die Kohlendioxidelimination, hämodynamische Variablen sowie die Höhe der Substitution vasopressorischer Mittel gemessen. Der iLA Membranventilator® führte zu einer akuten und mäßigen Steigerung der arteriellen Oxygenierung (PaO₂/FiO₂-Quotient zwei Stunden nach Beginn der iLA-Therapie [Median und Interquartilbereich]: 82 mm Hg) verglichen mit vor der iLA-Therapie (58 mm Hg, p < 0,05). Die Oxygenierung verbesserte sich über die nächsten 24 Stunden hinweg weiter (101 mm Hg, p < 0,05). Die Hyperkapnie wurde durch den iLA Membranventilator® innerhalb von zwei Stunden rasch und deutlich reduziert (paCO₂, 36 mm Hg), verglichen mit vor der Therapie (60 mm Hg, p < 0,05), wodurch eine weniger aggressive Beatmung ermöglicht wurde. Zur hämodynamischen Stabilisierung erhielten alle Patienten eine Dauerinfusion mit Noradrenalin. Die Häufigkeit von Komplikationen lag bei 24,4 %, wobei diese meist auf eine Ischämie in einer unteren Extremität zurückzuführen waren. 37 der 90 Patienten überlebten, wodurch sich eine niedrigere Mortalitätsrate ergab, als nach dem Sequential Organ Failure Assessment-Score zu erwarten gewesen wäre.

FAZIT: Der iLA Membranventilator® könnte eine ausreichende Rescue-Maßnahme mit einfacher Handhabung und geringen Kosten für Patienten mit schwerem akutem progressivem Lungenversagen und persistierender Hypoxie/Hyperkapnie darstellen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16540950>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.4. H1N1

Forum Med Suisse 2011;11(18):319–321

93-tägige Novalung[®]-Therapie bei durch Influenza A(H1N1) ausgelöstem ARDS

Luca Brendebach, Martin Siegemund, Jens Moll, Hans Pargger
Operative Intensivbehandlung, Departement Anästhesie, Universitätsspital Basel

FALLBERICHT: Eine 33-jährige gesunde Schwangere entwickelte drei Tage nach einer Sectio Symptome einer Lungenentzündung. Im weiteren Verlauf kam es trotz Antibiotikatherapie zu einer progredienten Verschlechterung. Die Patientin wurde intubiert und mit dem Bild eines ARDS (acute respiratory distress syndrome) ins Zentrumsspital verlegt.

Trotz ausgebauter maschineller Beatmung (BiPAPModus, FiO₂ 1,0, PEEP 20 cm H₂O), Muskelrelaxation, Bauchlage sowie der Inhalation von Prostazyklin und Stickstoffmonoxid (NO) verschlechterte sich die Oxygenierung fortlaufend, so dass sechs Stunden nach Übernahme der Patientin auf die Operative Intensivbehandlung ein extrakorporales Lungenersatzverfahren (Novalung[®], Novalung GmbH, Heilbronn, Deutschland) eingelegt wurde. Unter dieser Massnahme stabilisierte sich der Sauerstoffpartialdruck bei >5 kPa. Parallel wurde eine empirische Behandlung mit Oseltamivir (Tamiflu[®]) begonnen und bei Nachweis von H1N1 im nasopharyngealen Abstrich für insgesamt acht Tage fortgeführt.

Der äusserst protrahierte Krankheitsverlauf war in erster Linie gekennzeichnet durch das schwere Lungenversagen bei initialem H1N1-Infekt und bakteriellen Superinfekten. Die Lungenfunktion erholte sich nur sehr langsam (Abb. 1 x). Erst nach 93 Tagen konnte auf die Novalung[®]-Unterstützung verzichtet und der Membranoxygenator ausgebaut werden. Während des Novalung[®]-Einsatzes musste die Gasaustauschmembran insgesamt viermal wegen Gerinnselbildung mit Abnahme des Blutflusses gewechselt werden.

[...]

Trotz der langen Novalung[®]-Anwendungsdauer von 93 Tagen beobachteten wir keine auf das extrakorporale Lungenersatzverfahren zurückzuführende Komplikationen wie Blutungsprobleme, Perfusionsstörungen der Beine oder Wundinfekte. Trotz Heparinbeschichtung der Novalung[®] führten wir eine prophylaktische systemische Heparinisierung durch. Die Genesung ist gut eineinhalb Jahre nach dem Beginn der Erkrankung weit fortgeschritten. Aktuell leidet die Patientin noch an einer Anstrengungsdyspnoe, so dass sie bei körperlicher Belastung auf die Zufuhr von Sauerstoff angewiesen ist.

http://www.medicalforum.ch/pdf/pdf_d/2011/2011-18/2011-18-070.PDF

Journal of Cardiac Surgery, 2011, DOI: 10.1111/j.1540-8191.2011.01261.x

Use of Extracorporeal Membrane Lung Assist Device (Novalung) in H1N1 Patients

(Anwendung eines extrakorporalen Membrangeräts zur Lungenunterstützung [Novalung] bei H1N1-Patienten)

Philip Johnson, Stephen Fröhlich, Andrew Westbrook

Abteilung für Intensivmedizin, St. James's Hospital, Dublin, Irland; Abteilung für Intensivmedizin, Mater Misericordiae-Universitätsklinikum, Dublin, Irland; Abteilung für Anästhesie und Intensivmedizin, Midlands Regional Hospital, Mullingar, Irland

ABSTRAKT: Es werden drei Patienten mit schwerer respiratorischer Insuffizienz infolge einer durch das Influenza-A-Virus H1N1 hervorgerufenen Pneumonitis präsentiert, bei denen Hyperkapnie und respiratorische Azidose durch die konventionelle mechanische Lungenbeatmung oder Hochfrequenzbeatmung nicht adäquat behandelt werden konnten. Die Anwendung eines pumpenlosen, arteriovenösen, extrakorporalen Geräts zur Kohlendioxidelimination (Novalung™, Inspiration Healthcare Ltd., Leicester, Großbritannien) führte zu einer Verringerung des Kohlendioxidspiegels, einer Verbesserung des pH sowie einer Senkung des Inspirationsdrucks, sodass eine weniger schädliche Beatmungsstrategie angewendet werden konnte. Diese Fälle zeigen die Sicherheit und Effektivität des Novalung-Geräts bei Patienten mit H1N1-Pneumonitis, die refraktär gegenüber der konventionellen Therapie ist. Dieses könnte in bestimmten Fällen eine Alternative zur extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO) darstellen.

FAZIT: Zusammenfassend wurde gezeigt, dass das Novalung-Gerät eine praktikable, effektive und sichere Option zur Behandlung einer Hyperkapnie infolge einer H1N1-Pneumonitis darstellt. Die Kohlendioxidelimination war schnell, voraussagbar und führte zu einer Reduktion des Bedarfs an vasopressorischen Mitteln. Die Anwendung des Novalung-Geräts ermöglichte eine weniger aggressive Beatmungsstrategie, was den Behandlungserfolg verbessern könnte. Es stellte eine potenzielle Alternative zur ECMO dar, einer Therapie, die nicht allgemein verfügbar ist, die Verlegung des Patienten erfordert und mit hämorrhagischen Komplikationen assoziiert sein kann. Das Novalung-Gerät sollte bei allen Patienten mit H1N1-induzierter respiratorischer Insuffizienz, die refraktär gegenüber der konventionellen Therapie ist, als Behandlungsoption in Erwägung gezogen werden. Mithilfe multizentrischer, randomisierter, kontrollierter Studien sollte die Anwendung des Geräts bei diesen Patienten validiert werden. Bis dahin ist ein internationales Register vonnöten, mithilfe dessen die Rolle dieser Technologie bei der Behandlung von Patienten mit respiratorischer Insuffizienz, die auf Standardtechniken der mechanischen Beatmung nicht ansprechen, genauer definiert und dokumentiert werden kann.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21554392>

Canadian Journal of Anesthesia, 2010, 57: 240–7

Extracorporeal lung support for patients who had severe respiratory failure secondary to influenza A (H1N1) 2009 infection in Canada

(Extrakorporale Lungenunterstützung bei Patienten mit schwerer respiratorischer Insuffizienz infolge einer Infektion mit dem Influenza-A-Virus (H1N1 2009) in Kanada)

Freed, D. H.; Henzler, D.; White, C. W.; Fowler, R.; Zarychanski, R.; Hutchison, J.; Arora, R. C.; Manji, R. A.; Legare, J. F.; Drews, T.; Veroukis, S.; Kesselman, M.; Guerguerian, A. M.; Kumar, A.
Canadian Critical Care Trials Group, Surgical Heart Failure Program, Cardiac Sciences Program, St. Boniface-Krankenhaus, Winnipeg, Kanada

HINTERGRUND: Zwischen März und Juli 2009 traten zahlreiche Fälle respiratorischer Insuffizienz, verursacht durch das Influenza-A-Virus (H1N1 2009), auf, die eine mechanische Beatmung erforderlich machten. Ein kleiner Teil dieser Patienten entwickelte eine schwere respiratorische Insuffizienz, die mit konventionellen therapeutischen Verfahren nicht behandelbar war. In diesem Bericht werden Charakteristika, Therapie und Outcome schwer kranker Patienten in Kanada beschrieben, die an einer H1N1-2009-Infektion litten und mit extrakorporaler Lungenunterstützung (ECLS) behandelt wurden.

METHODEN: Es wird über die Ergebnisse einer Fallserie von sechs mit ECLS behandelten Patienten berichtet, die in eine Kohortenstudie mit schwer kranken Patienten mit bestätigter H1N1-2009-Infektion aufgenommen wurden. Die Patienten wurden zwischen 16. April 2009 und 12. August 2009 auf Intensivstationen für Erwachsene und Kinder in Kanada behandelt. Hier wird die mit ECLS behandelte Untergruppe beschrieben und mit der Gesamtgruppe verglichen.

ERGEBNISSE: Während des Studienzeitraums wurden 168 Patienten in Kanada aufgrund einer schweren respiratorischen Insuffizienz infolge einer bestätigten H1N1-2009-Infektion auf Intensivstationen eingeliefert. Aufgrund einer ausgeprägten Hypoxämie, die mit konventionellen therapeutischen Verfahren nicht behandelbar war, wurden sechs (3,6 %) dieser Patienten auf vier Intensivstationen mit ECLS behandelt. Vier Patienten wurden mit venovenöser, pumpenbetriebener, extrakorporaler Membranoxygenierung (w-ECMO) behandelt und zwei Patienten mit dem pumpenlosen Lungenunterstützungssystem iLA Membranventilator®. Die mittlere Unterstützungsdauer betrug 15 Tage. Vier der sechs Patienten (66,6 %) überlebten, einer der überlebenden Patienten wurde mit dem iLA Membranventilator® und die anderen drei überlebenden Patienten mit ECMO unterstützt. Die beiden Todesfälle gingen auf Multiorganversagen zurück, das während der Behandlung mit ECLS auftrat.

INTERPRETATION: Die extrakorporale Lungenunterstützung kann eine effektive Behandlung für Patienten mit H1N1-2009-Infektion und refraktärer Hypoxämie darstellen. Das Überleben der mit ECLS behandelten Patienten ist ähnlich dem von Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen infolge anderer ätiologischer Ursachen, die mit ECMO behandelt werden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20082167>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.5. Atem- und Intensivtherapie bei iLA[®]-Patienten

ASAIO Journal, 2010, 56: 30–4

Alveolar accumulation/concentration of nitrogen during apneic oxygenation with arteriovenous carbon dioxide removal

(Akkumulation/Konzentration von Stickstoff in den Alveolen während apnoeischer Oxygenierung mit arteriovenöser Kohlendioxidelimination)

Nielsen, N. D.; Andersen, G.; Kjaergaard, B.; Staerkind, M. E.; Larsson, A.

Forschungsabteilung für Anästhesie, Anästhesie und Intensivmedizin, Region Norddänemark, Universitetsklinikum Aarhus, Aalborg, Dänemark

An einem Modell des akuten Lungenversagens (ALI) wurde bereits gezeigt, dass durch apnoeische Oxygenierung mit einer inspiratorischen O₂-Konzentration (FiO₂) von 1,0 in Kombination mit extrakorporaler arteriovenöser CO₂-Elimination [iLA Membranventilator[®]] ein adäquater arterieller O₂- und CO₂-Gehalt langfristig aufrechterhalten wird. Es ist jedoch wichtig, dass eine FiO₂ von weniger als 1,0 zur Vermeidung einer potenziellen pulmonalen Sauerstofftoxizität verwendet werden kann. In Vorstudien sank die arterielle Oxygenierung auf extrem niedrige Werte ab, wenn bei apnoeischer Oxygenierung eine FiO₂ < 1 verwendet wurde. Es wurde angenommen, dass dies entweder durch eine alveoläre Akkumulation/Konzentration von N₂ oder durch eine Resorptionsatelektase verursacht wurde. Bei vier narkotisierten und mechanisch beatmeten Schweinen wurde ein leichtes Lungenversagen induziert. Nach einem Lungenrekrutierungsmanöver wurden zwei 20-Minuten-Phasen mit dem iLA Membranventilator[®] mit einer FiO₂ von 1 bzw. 0,5 initiiert. Bei Verwendung einer FiO₂ = 1 blieb der paO₂ über 300 mm Hg. Am Ende der Phase lag die alveoläre O₂-Konzentration (FaO₂) bei 0,89. Bei einer FiO₂ = 0,5 verringerte sich der paO₂ auf 90 % gegenüber den Baseline-Werten und die FaO₂ verringerte sich auf 0,07 (0,06–0,07). Nach keiner der Phasen war eine Atelektase im CT erkennbar, woraus gefolgert wird, dass die alveoläre Hypoxie durch die N₂-Akkumulation/-Konzentration in den Alveolen und den nachfolgenden O₂-Mangel verursacht wurde.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20038832>

Artificial Organs, 2008, 32: 885–90

Optimal positive end-expiratory pressure during pumpless extracorporeal lung membrane support

(Optimaler positiver endexpiratorischer Druck während der pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützung mittels Membransystem)

Jungebluth, P.; Iglesias, M.; Go, T.; Sibila, O.; Macchiarini, P.

Abteilung für allgemeine Thoraxchirurgie, Krankenhaus von Barcelona, Universität Barcelona, Barcelona, Spanien

Ziel dieser Studie war es, den optimalen positiven endexpiratorischen Druck (PEEP) zu ermitteln, der während der extrakorporalen Lungenunterstützung mittels Membransystem [iLA Membranventilator[®]] benötigt wird. Zwanzig gesunde Schweine wurden anfangs (4 h) mit einem Tidalvolumen (V_t) von 10 ml/kg, einer Atemfrequenz (AF) von 20 Atemzügen/Min., einem PEEP von 5 cm H₂O und einer inspiratorischen O₂-Konzentration (FiO₂) von 1,0 mechanisch beatmet. Anschließend wurde der iLA Membranventilator[®] arteriovenös transfemorale angeschlossen und die Einstellungen wurden so reduziert, dass eine nahezu statische Ventilation ($V_t \leq 2$ ml/kg, AF = 4 Atemzüge/Min., PEEP = 5, FiO₂ = 1,0) erreicht wurde. Die Tiere wurden dann vier Studiengruppen zugeteilt, bei denen der PEEP von 5 cm H₂O über acht Stunden hinweg erhöht und evaluiert wurde. Der Gasaustausch bei einem PEEP ≤ 10 cm H₂O war signifikant schlechter als bei einem PEEP > 12 cm H₂O, und dies ohne hämodynamisches Ungleichgewicht. Diese Studie deutet darauf hin, dass der iLA Membranventilator[®] für einen adäquaten Gasaustausch während der statischen Ventilation sorgen kann, wenn der PEEP > 10 cm H₂O ist, und dies ohne pulmonales oder systemisches hämodynamisches Ungleichgewicht.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18959682>

ASAIO Journal, 2008, 54: 401–5

Apneic oxygenation combined with extracorporeal arteriovenous carbon dioxide removal provides sufficient gas exchange in experimental lung injury

(Die apnoeische Oxygenierung in Kombination mit extrakorporaler arteriovenöser Kohlendioxidelimination sorgt für einen ausreichenden Gasaustausch beim experimentellen Lungenversagen)

Nielsen, N. D.; Kjaergaard, B.; Koefoed-Nielsen, J.; Steensen, C. O.; Larsson, A.
Forschungsabteilung für Anästhesie, Anästhesie und Intensivmedizin, Region Norddänemark, Universitätsklinikum Aarhus, Aalborg, Dänemark.

Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass durch apnoeische Oxygenierung nach dem Konzept der „offenen Lunge“ in Kombination mit extrakorporaler CO₂-Elimination [iLA Membranventilator[®]] ein adäquater Gasaustausch beim akuten Lungenversagen erreicht wird. Diese Hypothese wurde an neun narkotisierten und mechanisch beatmeten Schweinen (85 bis 95 kg) getestet, bei denen das Surfactant durch wiederholte Lungenlavage aus der Lunge „ausgewaschen“ wurde. Nach einem Lungenrekrutierungsmanöver wurde an den Endotrachealtubus ein kontinuierlicher Druck von 20 cm H₂O (100 % O₂) zur Oxygenierung des Bluts angelegt. Ein pumpenloser Membranventilator (iLA Membranventilator[®]) wurde über einen arteriovenösen Shunt zur CO₂-Elimination angeschlossen. PaO₂ und paCO₂ wurden über 3,5 Stunden hinweg gemessen. Der paO₂ betrug während des gesamten Versuchs 464 (403, 502) mm Hg (Median und Interquartilbereich). Die O₂-Aufnahme über die Lunge betrug 185 ml/Min. Der paCO₂ erhöhte sich asymptotisch auf 60 mm Hg. Die CO₂-Elimination durch den Membranventilator betrug 180 (150, 180) ml/Min. Folglich wurde in diesem experimentellen Modell mit dieser Methode ein adäquater Gasaustausch erreicht, was vermuten lässt, dass sie potenziell als alternative Behandlungsmodalität beim akuten Lungenversagen geeignet ist.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18645358>

Perfusion, 2007, 22: 293–297

Inhibition of thrombocyte aggregation during extracorporeal lung assist: a case report

(Inhibition der Thrombozytenaggregation während der extrakorporalen Lungenunterstützung: ein Fallbericht)

Philipp, A.; Müller, T.; Bein, T.; Foltan, M.; Schmid, F. X.; Birnbaum, D.; Schmid, C.

Bei der extrakorporalen Lungenunterstützung [iLA Membranventilator[®]] werden Membranoxygenatoren zur Verbesserung des Gasaustausches eingesetzt. Die Ablagerung von Gerinnungsendprodukten auf den Membranen kann den Widerstand gegen den Blutfluss und die Diffusionsstrecke erhöhen. Dies kann die Funktionalität des Systems beeinträchtigen und im Extremfall zum Funktionsausfall führen, durch den ein Austausch des Oxygenators erforderlich sein kann.

Mit nachstehend beschriebener Methode soll untersucht werden, ob durch tägliche systemische Gabe von 50 bis 100 mg Acetylsalicylsäure (ASS) die Bildung von Thrombozytenablagerungen reduziert werden kann. Zwar gibt es andere (neue) Wirkstoffe mit gerinnungs- und thrombozytenhemmenden Eigenschaften (Clopidogrel, Prasugrel, Cangrelor), doch ASS ist aus zwei Gründen interessant: Erstens hemmt sie die Thrombozyten-Cyclooxygenase und basiert auf einem völlig anderen Mechanismus als Heparin und zweitens wird ASS bereits erfolgreich bei anderen extrakorporalen Verfahren zusätzlich zu Heparin angewendet und es liegen hinsichtlich dieser Kombination die meisten Erfahrungswerte vor. Die Wirkung wurde in einer Fallpräsentation aufgezeigt und könnte anschließend in einer Fallserie bestätigt werden.

Unter Gabe von ASS normalisierten sich Blutfluss, CO₂-Elimination und Oxygenierungskapazität und es konnten nur kleinere Ablagerungen auf der Gasaustauschmembran entdeckt werden. Aggregationsmessungen zeigten eine Unterdrückung der Fähigkeit zur Thrombozytenaggregation um etwa 25 %. Dieser Effekt tritt innerhalb von zwölf bis 24 Stunden auf und kann problemlos während der Behandlung aufrechterhalten werden. Basierend auf theoretischen Überlegungen, klinischen Erfahrungswerten und wissenschaftlichen Veröffentlichungen wurde eine Methode zur Vermeidung bzw. Behebung von durch Gerinnung verursachten Funktionsstörungen bei extrakorporalen Lungenersatzverfahren entwickelt.

<http://prf.sagepub.com/cgi/content/abstract/22/4/293>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.6. Schädel-Hirn-Trauma

Anästh Intensivmed 2011; 4:299-304

Therapeutische Herausforderungen bei schwerem kombinierten Schädelhirn- und Thoraxtrauma

Kontroversen innerhalb eines Behandlungsverlaufes

R. Schmitt, N. Jensen, G. Braun

Klinik für Intensiv- und Notfallmedizin, Zentrum für Anästhesie und Intensivmedizin, Klinikum Meiningen GmbH

Anhand eines ca. 50-jährigen Patienten, bei dem zeitgleich ein Z.n. Reanimation bei schwierigem präklinischem Atemweg, eine schwere Schädelhirnverletzung und ein akutes Lungenversagen auftraten, werden die verschiedenen Therapieoptionen und teilweise kontroversen/konkurrierenden Leitlinien zur Behandlung einzelner Krankheitsbilder dargestellt und diskutiert. Insbesondere die gleichzeitig auftretenden Organversagen (hier drei) werden in diesem Zusammenspiel in der aktuellen Literatur bisher wenig gewertet und behandelt. Einen Schwerpunkt in dem dargestellten Kasus bildet die individuelle Nutzen-Risiko-Abwägung unter Einbeziehung der aktuellen Literatur.

Tabelle 3

Konsens und Konflikt der Therapiestrategien.

Schädel-Hirn-Trauma (SHT)	Akutes Lungenversagen (ARDS)	Postreanimationsphase
Vermeidung von Sekundärschäden	Vermeidung von Sekundärschäden	Vermeidung von Sekundärschäden
--	Vermeidung Barotrauma	--
--	Vermeidung Volutrauma	--
--	Vermeidung Atelektrauma	--
Hirndruckinterventionstherapie		Senkung zerebraler Stoffwechsel
Normoxie	PEEP-Erhöhung nach f_iO_2 [23]	Normoxie
Normokapnie	Permissive Hyperkapnie	Normokapnie
„Minimal handling“	Bauchlage	--
Lungenersatztherapie ?	Lungenersatztherapie (PECLA bzw. ECMO)	--
Keine Antikoagulation bei Blutungsgefahr	Therapeutische Heparinisierung bei ECMO	Antikoagulation (Thrombozyten-aggregationshemmung)
Normothermie	---	Moderate Hypothermie
Notfalltherapie SHT	Notfalltherapie ARDS	Nach Wiederherstellung Spontankreislauf
Hirndruckinterventionen	ARDS-Beatmungsstrategie	Post-Resuscitation-Care-Bundle [24]

http://www.aionline.info/aionline/Artikel/Jahr/2011/Monat/April/Titel/Therapeutische_Herausforderungen_bei_schwerem_kombiniertem_Schaedelhirn-_und_Thoraxtrauma/artikellid/2369/wicket:pageMapName/AI-Artikel

Anaesthesia, 2008, 63: 767–70

Pre-emptive Novalung-assisted carbon dioxide removal in a patient with chest, head and abdominal injury

(Vorbeugende Novalung-gestützte Kohlendioxidelimination bei einem Patienten mit Brust-, Kopf- und Bauchverletzungen)

McKinlay, J.; Chapman, G.; Elliot, S.; Mallick, A.

Abteilung für Anästhesie, Jubilee-Gebäude, Allgemeines Krankenhaus Leeds, Great George Street, Leeds, Großbritannien

Ein junger Mann erlitt Verletzungen an Lunge, Kopf und Abdomen. Trotz mechanischer Beatmung verschlechterte sich seine Atemfunktion und es kam zu einer schweren Hypoxie und Hyperkapnie mit hohem paCO_2 . Dies führte zu einem weiteren Anstieg des bereits erhöhten intrakraniellen Drucks. Der iLA Membranventilator[®] wurde vorbeugend vor der Laparotomie ohne Antikoagulation angewendet, um Kohlendioxid zu entfernen und die Anwendung zerebraler und lungenprotektiver Strategien zu ermöglichen. Dadurch war eine Kontrolle des intrakraniellen Drucks möglich, wodurch das Risiko potenzieller sekundärer Hirnschäden verringert wurde.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18582263>

Anaesthesia, 2007, 62: 72–4

Extracorporeal carbon dioxide removal using the Novalung in a patient with intracranial bleeding

(Extrakorporale Kohlendioxidelimination mithilfe des Novalung bei einem Patienten mit intrakranieller Blutung)

Mallick, A.; Elliot, S.; McKinlay, J.; Bodenham, A.

Abteilung für Anästhesie und Intensivtherapie, Allgemeines Krankenhaus Leeds, Leeds, Großbritannien

Ein neurochirurgischer Patient, der wegen eines intrakraniellen Hämatoms wiederholt operationspflichtig wurde, entwickelte akutes progressives Lungenversagen. Der erhöhte intrakranielle Druck ließ sich nur schwer behandeln, während gleichzeitig versucht wurde, einen optimalen Gasaustausch aufrechtzuerhalten. Der resultierende arterielle Kohlendioxid-Partialdruck blieb unannehmbar hoch, weswegen die Behandlung mit extrakorporaler Kohlendioxidelimination eingeleitet wurde. Ein pumpenloses, arteriovenöses, interventionelles Lungenunterstützungsgerät [iLA Membranventilator[®]] wurde zwischen rechter Femoralarterie und linker Femoralvene angeschlossen. Dieses Gerät reduzierte das arterielle Kohlendioxid, korrigierte die respiratorische Azidose und ermöglichte die Kontrolle des intrakraniellen Drucks. In der Folge verringerte sich der Bedarf für respiratorische und kardiovaskuläre Unterstützung. Es kam zu einer vollständigen neurologischen Genesung des Patienten.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17156230>

Journal of Trauma, 2005, 58: 1294–7

Pumpless extracorporeal lung assist (pECLA) in patients with acute respiratory distress syndrome and severe brain injury

(Pumpenlose extrakorporale Lungenunterstützung [pECLA] bei Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen und schwerem Hirntrauma)

Bein, T.; Scherer, M. N.; Philipp, A.; Weber, F.; Wörtgen, C.

Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg, 93042 Regensburg, Deutschland

HINTERGRUND: Anhand einer retrospektiven Analyse wurde die praktische Anwendbarkeit eines pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützungssystems [iLA Membranventilator[®]] bei Traumapatienten mit schwerem Hirntrauma und akutem progressivem Lungenversagen (ARDS) evaluiert.

METHODEN: Fünf Patienten mit schwerem Hirntrauma und ARDS, die in einem lungenprotektiven Modus beatmet wurden, wurden an den iLA Membranventilator[®] angeschlossen, um die negativen Effekte einer Hyperkapnie auf den intrakraniellen Druck und das Gehirn zu vermeiden. Mit dem iLA Membranventilator[®] wurde die Hyperkapnie bei allen Patienten behoben, während gleichzeitig das maschinelle Minutenvolumen der künstlichen Beatmung reduziert werden konnte. In der Folge sank der intrakranielle Druck und die systemische Hämodynamik und der Hirnperfusionsdruck blieben stabil. Ein Patient verstarb an Multiorganversagen infolge eines Polytraumas. Die übrigen Patienten überlebten und zeigten eine gute neurologische Funktion.

FAZIT: Der iLA Membranventilator[®] stellt dank seiner geringeren Einschränkungen und Nebenwirkungen verglichen mit konventionellen pumpenbetriebenen Systemen eine viel versprechende Alternative für Patienten mit ARDS und Hirntrauma dar.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15995487>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.7. Überbrückung zur Lungentransplantation

ASAIO Journal, 2008, 54: 3–10

Interventional lung assist: a new concept of protective ventilation in bridge to lung transplantation

(Die interventionelle Lungenunterstützung: ein neues Konzept der protektiven Beatmung zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation)

Fischer, S.; Hoeper, M. M.; Bein, T.; Simon, A. R.; Gottlieb, J.; Wisser, W.; Frey, L.; Van Raemdonck, D.; Welte, T.; Haverich, A.; Strüber, M.

Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Programm für thorakale Transplantation und Herzunterstützung Hannover, Medizinische Hochschule Hannover, Deutschland

Am 22. März 2006 wurde in Hannover die erste Konsensus-Konferenz zum Thema „Interventionelle Lungenunterstützung“ [iLA Membranventilator[®]] unter Leitung des Programms für thorakale Transplantation und Herzunterstützung Hannover an der Medizinischen Hochschule Hannover abgehalten. Führende Experten auf den Gebieten Lungentransplantation, respiratorische und Intensivmedizin, Lungenversagen, mechanische Beatmung, extrakorporale Lebensunterstützung und künstliche Lunge waren formell eingeladen worden. Das Hauptziel war es, auf der Grundlage früherer klinischer Erfahrungen mit dem iLA Membranventilator[®] einen Konsensus für die Anwendung dieses Geräts zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation zu etablieren.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18204308>

ASAIO Journal, 2007, 53: 168–70

Bridge to lung transplantation with the extracorporeal membrane ventilator Novalung in the veno-venous mode: the initial Hannover experience

(Überbrückung bis zur Lungentransplantation mit dem extrakorporalen Membranventilator von Novalung im venovenösen Modus: erste Erfahrungen in Hannover)

Fischer, S.; Hoeper, M. M.; Tomaszek, S.; Simon, A.; Gottlieb, J.; Welte, T.; Haverich, A.; Strüber, M.
Programm für thorakale Transplantation Hannover, Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Medizinische Hochschule Hannover, Deutschland

Es wurde festgestellt, dass konventionelle extrakorporale Membranoxygenierung und mechanische Beatmung beide signifikante Risikofaktoren für die Mortalität nach Lungentransplantationen darstellen, wenn sie zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation angewendet werden. Die erfolgreiche Anwendung des extrakorporalen Membranventilators [iLA Membranventilator[®]] zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation bei Patienten mit schwerer Hyperkapnie und respiratorischer Azidose wurde bereits beschrieben. In diesem Fall wurde der iLA Membranventilator[®] im arteriovenösen Modus ohne Unterstützung durch eine mechanische Blutpumpe angeschlossen. Bei Patienten mit prädominierender Hypoxämie erzielt dieser pumpenlose Modus jedoch aufgrund des eingeschränkten Blutflusses keine ausreichende Oxygenierung des Bluts. Daher ist bei diesen Patienten eine pumpenbetriebene Unterstützung angezeigt. Wir beschreiben hier unsere ersten Erfahrungen mit der Anwendung des iLA Membranventilators[®], der ursprünglich für die pumpenlose Kohlendioxidelimination konzipiert wurde, im venovenösen pumpenbetriebenen Modus zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation bei Patienten mit beatmungsrefraktärer Hypoxämie.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17413556>

The Journal of Thoracic Cardiovascular Surgery, 2006, 131: 719–23

Bridge to lung transplantation with the novel pumpless interventional lung assist device NovaLung

(Überbrückung bis zur Lungentransplantation mit dem neuartigen pumpenlosen, interventionellen Lungenunterstützungsgerät von Novalung)

Fischer, S.; Simon, A. R.; Welte, T.; Hoeper, M. M.; Meyer, A.; Tessmann, R.; Gohrbandt, B.; Gottlieb, J.; Haverich, A.; Strüber, M.

Programm für thorakale Transplantation Hannover, Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Medizinische Hochschule Hannover, Deutschland

HINTERGRUND: Eine Verschlechterung des Lungenversagens bei Patienten, die auf eine Lungentransplantation warten, kann zu beatmungsrefraktärer Hyperkapnie und respiratorischer Azidose führen. In den meisten Transplantationszentren gilt eine extrakorporale Membranoxygenierung vor der Lungentransplantation wegen des schlechten Outcome als Kontraindikation für die Transplantation. Wir haben erstmalig das neuartige pumpenlose, interventionelle Lungenunterstützungssystem [iLA Membranventilator®] zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation bei Patienten mit schwerer beatmungsrefraktärer Hyperkapnie angewendet. Dies ist ein Bericht über unsere ersten Erfahrungen.

METHODEN: Zwischen März 2003 und März 2005 wurden 176 Lungentransplantationen durchgeführt, von denen 60 % hochdringliche Fälle waren. Zwölf der Empfänger mit der höchsten Dringlichkeit litten an einer schweren beatmungsrefraktären Hyperkapnie und respiratorischer Azidose. Diese Patienten wurden zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation an das neuartige pumpenlose, interventionelle Lungenunterstützungssystem angeschlossen.

ERGEBNISSE: Die Dauer der Unterstützung mit dem iLA Membranventilator® betrug 15 +/-8 Tage (4 bis 32 Tage). Die Werte für paO_2 , pH und paCO_2 im arteriellen Blut lagen vor der Implantation des iLA Membranventilators® bei 71 +/-27 mm Hg, 7,121 +/-0,1 und 128 +/-42 mm Hg. Sechs Stunden nach der Implantation des iLA Membranventilators® hatten sich die Werte für paO_2 , pH und paCO_2 auf 83 +/-17 mm Hg (ns), 7,344 +/-0,1 ($p < 0,05$) und 52 +/-5 mm Hg ($p < 0,05$) geändert. Vier Patienten verstarben an Multiorganversagen, zwei Patienten vor und zwei nach der Lungentransplantation. Somit war bei zehn von zwölf Patienten die Überbrückung bis zur Lungentransplantation erfolgreich und acht dieser Patienten sind noch am Leben (Ein-Jahres-Überleben von 80 %).

FAZIT: Dieser Bericht lässt darauf schließen, dass die Implantation des iLA Membranventilators® bei Patienten mit beatmungsrefraktärer Hyperkapnie eine effektive Strategie zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation darstellt.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16515929>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.8. Transport

Resuscitation, 2007, 72: 280–5

Aero-medical evacuations with interventional lung assist in lung failure patients

(Krankentransport per Luft mit interventioneller Lungenunterstützung bei Patienten mit Lungenversagen)

Kjaergaard, B.; Christensen, T.; Neumann, P. B.; Nürnberg, B.
Sanitätstruppe der Königlichen Luftwaffe von Dänemark.

ZIEL: Beim akuten Lungenversagen kann sich der Langstreckentransport per Luft extrem schwierig gestalten. Trotz Druckkabine sinkt der Druck auf etwa drei Viertel des Atmosphärendrucks und auch der Sauerstoff-Partialdruck nimmt proportional ab. Die Behandlung mit interventioneller Lungenunterstützung [iLA Membranventilator[®]] auf der Intensivstation ist gut dokumentiert, für Langstrecken-Krankentransporte per Luft erfolgte jedoch noch keine wissenschaftliche Evaluierung. Die hier beschriebene tierexperimentelle Studie wurde mit dem Ziel durchgeführt, die praktische Anwendbarkeit des iLA Membranventilators[®] zur Behandlung des Lungenversagens bei interkontinentalen Lufttransporten in einer militärischen Umgebung zu untersuchen.

METHODEN: Bei acht erwachsenen weiblichen Schweinen wurden jeweils die rechte Arteria axillaris und die rechte Vena jugularis kanüliert. Ein arteriovenöser iLA Membranventilator[®] wurde angeschlossen. Vor der Anwendung des iLA Membranventilators[®] wurde das Gerät auf weniger als die Hälfte des erforderlichen Minutenvolumens eingestellt. Die Tiere wurden auf unterschiedlichen Transportwegen im Krankenwagen, Helikopter und Flugzeug transportiert. Zwei der Schweine wurden in einer Unterdruckkammer getestet, die zwei anderen Tiere wurden einem 7,5-stündigen interkontinentalen Transport in einem Hercules-C-130J-Transportflugzeug von Dänemark nach Grönland unterzogen.

ERGEBNISSE: Mit dem iLA Membranventilator[®] konnten der physiologische paCO_2 und paO_2 in normalen Flughöhen aufrechterhalten werden. Verglichen mit pumpenbetriebenen ECMO-Systemen ist der iLA Membranventilator[®] sicherer und effizienter. Die vorliegende Studie demonstriert die praktische Anwendbarkeit des iLA Membranventilators[®] während militärischer Krankentransporte per Luft.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17126982>

Military Medicine, 2007, 172, 5: 523

Extracorporeal Circulatory Systems and Their Role in Military Medicine: A Clinical Review

(Extrakorporale Kreislaufsysteme und ihre Rolle in der Militärmedizin: eine klinische Evaluierung)

Midla GS (USA)

Ziel dieser Studie war es, die Anwendung von extrakorporalen Kreislaufsystemen (ECC) in der Vergangenheit, aktuelle Herstellungstrends sowie ihre militärische Anwendung zur Behandlung von Patienten mit Lungentrauma klinisch zu evaluieren. In den letzten 50 Jahren hat sich die extrakorporale Kreislaufunterstützung zu einer praktikablen Behandlungsoption für Lungenpatienten entwickelt. Dank neuartiger ECC-Systeme, zum Beispiel heparinbeschichteter Kreislaufsysteme wie dem Lifebridge B2T und dem [iLA Membranventilator[®]], haben Ärzte mehr Auswahlmöglichkeiten bei der Entscheidung, welches ECC-System zur Unterstützung und zum Transport von Patienten, die im globalen Kampf gegen den Terrorismus verwundet wurden, verwendet werden soll.

Der iLA Membranventilator[®] ist eine weitere Meisterleistung deutscher Ingenieurskunst und wird auch als PECLA bezeichnet. Bisher wurde er in mindestens drei Fällen für Personen angewendet, die während ihres Diensts im globalen Kampf gegen den Terrorismus verwundet wurden. Der größte Vorteil des iLA Membranventilators[®] ist seine kompakte Größe. Schläuche und Kanülen für ECMO-Kreisläufe und den iLA Membranventilator[®] sind nun mit Heparinbeschichtung erhältlich. Diese Produkte ermöglichen die Verwendung von geringen Antikoagulationsdosen. Mit diesen Geräten werden häufig aktivierte Gerinnungszeiten von 140 bis 180 Sekunden erreicht. Die Gabe von gerinnungshemmenden Mitteln stellt bei Traumapatienten immer ein Problem dar. Es wurde über Fälle berichtet, bei denen aufgrund von Blutungsrisiken keine zusätzlichen Gerinnungshemmer verabreicht wurden, wenn diese heparinbeschichteten Kreisläufe verwendet wurden. Nach Beendigung der Behandlung gab es keine Berichte über Gerinnselbildung im Kreislauf oder embolische Insulte.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17521103>

ASAIO J., 2007, 53: e4–6

From Baghdad to Germany: use of a new pumpless extracorporeal lung assist system in two severely injured US soldiers

(Von Bagdad nach Deutschland: Anwendung eines neuen pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützungssystems bei zwei schwer verwundeten US-Soldaten)

Zimmermann, M.; Philipp, A.; Schmid, F. X.; Dorlac, W.; Arlt, M.; Bein, T.
Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg, Deutschland

Es wird ein neues extrakorporales, pumpenloses, interventionelles Lungenunterstützungssystem [iLA Membranventilator[®]] beschrieben, das bei zwei US-Soldaten angewendet wurde, die durch Feindeinwirkung im Irak ein schweres akutes progressives Lungenversagen erlitten hatten und bei denen das Risiko einer kritischen Hypoxämie/Hyperkapnie bestand. Mit diesem System wird nach Kanülierung der Arteria und Vena femoralis ein arteriovenöser Bypass etabliert, in den eine neuartige Gasaustauschmembran mit niedrigem Widerstand integriert ist. Herz-Kreislauf-Stabilität ist essenziell, um über die Gasaustauscheinheit ausreichend hohe Blutflussraten zu erzielen. Nach Implantation des interventionellen Lungenunterstützungssystems nahm die Oxygenierung zu und die Kohlendioxidelimination verbesserte sich rasch. Die Ventilatoreinstellungen konnten an den verringerten Bedarf für einen pulmonalen Gasaustausch angepasst werden, wodurch die Umsetzung lungenprotektiver Strategien möglich war. Der Lufttransport der beiden Patienten mit dem laufenden iLA Membranventilator[®] verlief ohne Ereignisse. Der iLA Membranventilator[®] wurde nach 15 bzw. 8 Tagen Dauerbetrieb entfernt und beide Soldaten wurden erfolgreich von der mechanischen Beatmung entwöhnt. Die interventionelle, extrakorporale, pumpenlose Lungenunterstützung eröffnet neue Möglichkeiten auf dem Gebiet der lungenprotektiven Beatmung, insbesondere dank ihrer einfachen Anwendung, Effektivität und geringen Kosten. Es besteht jedoch das Risiko einer Perfusionseinschränkung der unteren Extremität. Die bisherigen Erfahrungen sind viel versprechend, jedoch fehlen randomisierte Studien und das Verfahren ist mit signifikanten Risiken verbunden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17515712>

Deutsches Ärzteblatt, 2006, 103: A 2797–2801

Von Bagdad nach Regensburg

Bein, T., Philipp, A., Dorlac, W., Taeger K., Nerlich, K., Schlitt, H. J.

Behandlung eines lebensbedrohlich verletzten US-Soldaten mit einem neuen System zur extrakorporalen, pumpenfreien Lungenunterstützung

ANAMNESE UND KLINISCHE BEFUNDE: Ein neues extrakorporales, pumpenfreies, interventionelles Lungenunterstützungssystem (iLA) wurde in Bagdad bei einem schwer verletzten US-Soldaten eingesetzt. Der Patient hatte nach einem Explosionstrauma rasch ein schweres akutes Lungenversagen erlitten. Das iLA wurde wegen kritischer Hypoxämie und Hyperkapnie angewandt und zum Transport in das Universitätsklinikum Regensburg benutzt. Mit diesem System wird nach Kanülierung der Arteria und Vena femoralis ein arterio-venöser Bypass etabliert, in den eine leistungsfähige Gasaustauschmembran mit niedrigem Widerstand integriert ist.

THERAPIE UND VERLAUF: Im Universitätsklinikum Regensburg stabilisierte sich der Patient unter der durch iLA ermöglichten lungenschonenden Beatmung schnell, sodass das System nach 15 Tagen entfernt und der Patient wenig später extubiert werden konnte.

DISKUSSION: ILA ist eine Erfolg versprechende Technologie, die eine extrakorporale Lungenunterstützung vereinfacht und die Umsetzung eines lungenprotektiven Konzeptes erlaubt. Mögliche Komplikationen bestehen im Risiko akuter Blutungen und/oder in der Perfusionseinschränkung der unteren Extremität durch die großlumige Kanülierung der Arteria femoralis. Zur Etablierung von iLA als Standardverfahren sind noch weitere systematische prospektive Untersuchungen erforderlich.

<http://aerzteblatt.lnsdata.de/pdf/103/42/a2797.pdf>

Intensive Medicine, 2006, 43: 589–592

Pumpless extracorporeal lung assist for interhospital transfer of a patient with severe pulmonary failure due to legionnaires' disease
(Pumpenlose extrakorporale Lungenunterstützung für den Interhospitaltransfer eines Patienten mit schwerem Lungenversagen aufgrund der Legionärskrankheit)

Brünnler, T.; Philipp, A.; Schölmerich, J.; Birnbaum, D. E.; Reng, C. M.

Es wird über den ersten Interhospitaltransfer berichtet, bei dem die pumpenlose extrakorporale Lungenunterstützung [iLA Membranventilator[®]] in einem Fall des schweren Lungenversagens angewendet wurde. Der Patient, ein 25-jähriger Mann, entwickelte ein Lungenversagen infolge einer Legionärerkrankung. Das Behandlungsregime umfasste eine angemessene Antibiotikatherapie, mechanische Beatmung und schließlich den Transport des Patienten nach Implantation des iLA Membranventilators[®] von der Intensivstation eines Kreiskrankenhauses auf die Intensivstation einer Universitätsklinik. Die Initiierung der Behandlung mit dem iLA Membranventilator[®] führte innerhalb von sechs Tagen zu einer dramatischen Verbesserung. Der Patient konnte nach zwölf Tagen erfolgreich vom iLA Membranventilator[®] entwöhnt und nach weiteren fünf Tagen extubiert werden. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der iLA Membranventilator[®] in diesem Fall des schweren Lungenversagens zu einer Verbesserung der Oxygenierung und hämodynamischen Leistung führte, sodass der Patient in ein Fachzentrum für eine optimale Intensivtherapie verlegt werden konnte.

<http://www.springerlink.com/content/x3043656kht52466/>

British Journal of Anaesthesia, 2006, 96: 63–6

Interhospital transportation of patients with severe lung failure on pumpless extracorporeal lung assist

(Interhospitaltransfer von Patienten mit schwerem Lungenversagen unter pumpenloser extrakorporaler Lungenunterstützung)

Zimmermann, M.; Bein, T.; Philipp, A.; Ittner, K.; Foltan, M.; Drescher, J.; Weber, F.; Schmid, F. X.
Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg, Deutschland

HINTERGRUND: Ziel ist, die Anwendung eines pumpenlosen, extrakorporalen, interventionellen Lungenunterstützungssystems [iLA Membranventilator®] zum Transport von Patienten mit schwerem, lebensbedrohlichem akutem Lungenversagen von Tertiärkrankenhäusern zu Fachzentren zu beschreiben.

METHODEN: Retrospektive Analyse von acht Patienten mit schwerem Lungenversagen, bei denen ein Interhospitaltransfer erforderlich war und denen in einem Tertiärkrankenhaus zum Zweck des Luft-/Landtransports ein iLA Membranventilator® implantiert wurde.

ERGEBNISSE: Nach Implementierung des iLA Membranventilators® kam es zu einer raschen Zunahme der CO₂-Elimination (paCO₂ vor iLA: 8,92 +/-2,9 kPa; direkt nach der Implementierung: 5,06 +/-0,93 kPa; 24 h nach der Implementierung: 4,53 +/-1,20 kPa [Mittel +/-SD], p < 0,05) sowie einer signifikanten Verbesserung der Oxygenierung (paO₂ vor iLA: 6,66 +/-2,26 kPa; direkt nach der Implementierung: 10,39 +/-3,33 kPa; 24 h nach der Implementierung: 10,25 +/-5,46 kPa, p < 0,05). Während des Transports traten keine schweren Komplikationen auf. Vier Patienten verstarben während der weiteren Behandlung an einem Polytrauma oder Multiorganversagen.

FAZIT: Aufgrund der einfachen Handhabung, hohen Wirksamkeit und der relativ geringen Kosten scheint der iLA Membranventilator® ein nützliches System für Behandlung und Transport von Patienten mit schwerem akutem Lungenversagen oder ARDS, bei denen eine lebensbedrohliche Hypoxie und/oder Hyperkapnie besteht, zu sein.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16299045>

1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.9. Thoraxchirurgie

The Annals of Thoracic Surgery, 2010, 89 (6): 1782–7, Diskussion: 1788

Thoracic surgical procedures supported by a pumpless interventional lung assist

(Thoraxchirurgische Eingriffe unter pumpenloser interventioneller Lungenunterstützung)

Wiebe, K.; Pöling, J.; Arlt, M.; Philipp, A.; Camboni, D.; Hofmann, S.; Schmid, C.
Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Universitätsklinikum Münster, Deutschland

HINTERGRUND: Zur Unterstützung der Lungenfunktion während komplexer thoraxchirurgischer Eingriffe, insbesondere bei respiratorisch beeinträchtigten Patienten, wurde das pumpenlose interventionelle Lungenunterstützungssystem iLA Membranventilator® angewendet. Praktische Anwendbarkeit und Wirksamkeit dieses neuartigen Systems wurden evaluiert.

METHODEN: Zehn Patienten wurden einer Thoraxoperation mit respiratorischer Unterstützung durch den iLA unterzogen. Die Anwendung des iLA Membranventilators® war angezeigt, wenn die Beatmung während der Operation für einen längeren Zeitraum unterbrochen werden musste (Operation an der Luftröhre und Lungenresektion nach Pneumonektomie [n = 6] und Notfalleingriffe bei Patienten mit akutem Lungenversagen [n = 4]). Das pumpenlose extrakorporale System wurde vor dem Eingriff perkutan in die femoralen Blutgefäße eingeführt. Blutfluss durch den iLA Membranventilator®, Herzzeitvolumen und Gasaustausch wurden überwacht.

ERGEBNISSE: Bei allen Patienten verlief der chirurgische Eingriff dank der Unterstützung durch den pumpenlosen iLA Membranventilator® erfolgreich. Der mittlere Blutfluss durch den iLA Membranventilator® betrug 1,58 +/- 0,3 l/Min. (1,2 l/Min. bis 2,2 l/Min.). Geringe Dosen von Noradrenalin waren erforderlich, um einen ausreichenden systemischen Blutdruck aufrechtzuerhalten. Es kam zu einer moderaten Verbesserung der Oxygenierung (49 ml/Min. O₂-Transport) und einer äußerst effizienten Elimination von Kohlendioxid (121 ml/Min. CO₂-Transport). Dies erlaubte längere Perioden apnoeischer Oxygenierung während des Eingriffs. Das Gerät wurde bei sechs Patienten direkt nach der Operation entfernt. Bei vier Patienten mit schwerer respiratorischer Insuffizienz wurde die Behandlung mit dem iLA Membranventilator® im Mittel 6,8 Tage lang fortgeführt, um eine protektive, postoperative Beatmung zu ermöglichen.

FAZIT: Die Anwendung des pumpenlosen iLA Membranventilators® war hämodynamisch gut verträglich und ermöglichte sichere Eingriffe bei respiratorisch beeinträchtigten Patienten. Dadurch konnten die Anwendung und die Auswirkungen eines kardiopulmonalen Bypasses oder einer pumpenbetriebenen extrakorporalen Membranoxygenierung vermieden werden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20494028>

European Respiratory Journal, 2008, 32: 1652–5

Bronchial fistulae in ARDS patients: management with an extracorporeal lung assist device

(Bronchialfisteln bei ARDS-Patienten: Management mithilfe eines extrakorporalen Lungenunterstützungsgeräts)

Hommel, M.; Deja, M.; von Dossow, V.; Diemel, K.; Heidenhain, C.; Spies, C.; Weber-Carstens, S.
Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Campus Virchow-Klinikum und Campus Mitte, Berlin, Deutschland

Insbesondere Patienten mit Läsionen des Bronchialbaums haben ein hohes Risiko, nach einer chirurgischen Korrektur Bronchialfisteln zu entwickeln, wenn die klinische Situation durch akutes Lungenversagen (ALI)/akutes progressives Lungenversagen (ARDS) verkompliziert wird und Beatmungspflicht besteht. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass die extrakorporale Kohlendioxidelimination den inspiratorischen Atemwegsdruck signifikant erhöhen würde, wodurch eine schonendere chirurgische Bronchialrekonstruktion möglich wäre. Vier Patienten wurden nach der chirurgischen Korrektur der Bronchialfisteln untersucht. Diese Patienten hatten ein ALI/ARDS entwickelt und mussten einer mechanischen Beatmung mit positivem endexpiratorischem Druck unterzogen werden. Gasaustausch, Tidalvolumen, Atemwegsdruck, Atemfrequenz, Bedarf an vasopressorischen Mitteln und Sedierungsbedarf wurden vor und nach Einleitung der Behandlung mit einem pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützungsgerät [iLA Membranventilator[®]] analysiert. Die Behandlung mit dem iLA Membranventilator[®] ermöglichte eine Senkung des inspiratorischen Atemwegsplateaudrucks von 32,4 auf 28,6 cm H₂O (3,2 auf 2,8 kPa), eine effektive Behandlung der Hyperkapnie (von 73,6 auf 53,4 mm Hg [9,8 auf 7,1 kPa]) und eine Beseitigung der respiratorischen Azidose (von pH 7,24 auf 7,41). Alle Patienten überlebten und konnten in Rehabilitationskliniken entlassen werden. Die Anwendung der pumpenlosen extrakorporalen Kohlendioxidelimination war bei Patienten nach einer chirurgischen Bronchialrekonstruktion, die akutes Lungenversagen/akutes progressives Lungenversagen entwickelt hatten, sicher und effizient. Die Behandlung mit dem pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützungsgerät ermöglichte ein weniger invasives Beatmungsmanagement, was möglicherweise zur Heilung nach der chirurgischen Bronchialrekonstruktion beitrug.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19043011>

The Journal of Thoracic Cardiovascular Surgeon, 2008, 135: 1362–71

Extracorporeal lung membrane provides better lung protection than conventional treatment for severe postpneumonectomy noncardiogenic acute respiratory distress syndrome

(Die extrakorporale Membranlung bietet bessere Lungenprotektion als konventionelle Therapieformen beim schweren, nicht kardiogenen, akuten, progressiven Lungenversagen nach einer Pneumonektomie)

Iglesias, M.; Jungebluth, P.; Petit, C.; Matute, M. P.; Rovira, I.; Martínez, E.; Catalan, M.; Ramirez, J.; Macchiarini, P.

Abteilung für allgemeine Thoraxchirurgie, Universitätsklinikum Barcelona, Barcelona, Spanien

ZIEL: Die konventionelle Therapie wurde mit der Unterstützung durch eine pumpenlose extrakorporale Membranlung (Interventionelle Lungenunterstützung [iLA Membranventilator®]) in einem Schweinemodell des schweren akuten progressiven Lungenversagens nach einer Pneumonektomie verglichen.

METHODEN: Erwachsene Schweine wurden einer Thorakotomie ohne (Gruppe I) oder mit linksseitiger extraperikardialer Pneumonektomie und radikaler Lymphadenektomie (Gruppe II bis V) unterzogen. Nach der Stabilisierung wurden die Schweine in Gruppe II nur beobachtet, während bei den Tieren in Gruppe III bis V durch Surfactant-Depletion ein schweres ($paO_2/FiO_2 < 100$) akutes progressives Postpneumonemie-Lungenversagen induziert wurde. Darauf folgte entweder eine reine Beobachtung (Gruppe III), eine Behandlung mit konventionellen Therapien, darunter protektive Beatmung, Steroide und Stickstoffmonoxid (Gruppe IV) oder arteriovenöser femoraler Anschluss des iLA Membranventilators®, quasi-statische Beatmung, Steroide und Stickstoffmonoxid (Gruppe V). Jede Gruppe umfasste fünf Tiere. Hauptzielkriterium war die Extubation 12 Stunden nach dem Eingriff oder ein schweres akutes progressives Postpneumonemie-Lungenversagen.

ERGEBNISSE: Ein schweres akutes progressives Postpneumonemie-Lungenversagen wurde nach 9 +/-2 alveolären Lavagen über 90 +/-20 Minuten erreicht. Bei den Schweinen der Gruppe V leitete der iLA Membranventilator® 17 % +/-4 % des Herzzeitvolumens um. Darüber hinaus ermöglichte er einen Sauerstofftransport und eine Kohlendioxidelimination von 298,4 +/-173,7 ml/Min. bzw. 287,7 +/-87,3 ml/Min. sowie eine statische Beatmung (Tidalvolumen: 2,2 +/-1 ml/kg; Atemfrequenz: 6 +/-2,9 Atemzüge/Min.). Alle bis auf ein Schwein der Gruppe V konnten extubiert werden, verglichen mit keinem in Gruppe III and IV ($p < 0,01$), und nur bei diesen Tieren traten weniger Parenchymläsionen auf ($p < 0,05$) und kam es zu einer Normalisierung der Zytokinfreisetzung ($p < 0,001$) und des Surfactants ($p < 0,03$) in der Lunge.

FAZIT: Durch die pumpenlose extrakorporale Membranlung und quasi-statische Beatmung wurden in diesem Schweinemodell des schweren akuten progressiven Lungenversagens nach einer Pneumonektomie signifikant bessere Ergebnisse erzielt als mit konventioneller Therapie. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass die geschädigte Lunge nicht gezwungen wurde, zu arbeiten, und dank dieser „Ruhigstellung“ mehr Zeit zur Heilung hatte.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18544387>

The Annals of Thoracic Surgery, 2008, 85: 237–44

Extrapulmonary ventilation for unresponsive severe acute respiratory distress syndrome after pulmonary resection

(Extrapulmonale Beatmung beim therapierefraktären, schweren akuten progressiven Lungenversagen nach einer Lungenresektion)

Iglesias, M.; Martinez, E.; Badia, J. R.; Macchiarini, P.

Abteilung für allgemeine Thoraxchirurgie, Universitätsklinikum Barcelona, Universität Barcelona, Barcelona, Spanien

HINTERGRUND: Ziel dieser Studie war es, die praktische Anwendbarkeit einer Kombination eines künstlichen, pumpenlosen, extrakorporalen Membranventilators [iLA Membranventilator[®]] mit quasi-statischer mechanischer Beatmung zu evaluieren. Darüber hinaus sollte deren Wirksamkeit bei Patienten mit schwerem akutem progressivem Lungenversagen (ARDS) nach einer Resektion, das mit optimaler konventioneller Therapie nicht behandelbar war, untersucht werden.

METHODEN: Indikationen waren therapierefraktäres akutes progressives Lungenversagen nach einer Resektion, hämodynamische Stabilität und keine signifikante periphere arterielle Verschlusskrankheit oder heparininduzierte Thrombozytopenie. Das Management umfasste den arteriovenösen, femoralen, transkutanen Anschluss des iLA Membranventilators[®], Ruhigstellung der Lunge bei minimalen Ventilatoreinstellungen und Optimierung des systemischen Sauerstoffverbrauchs und -transports.

ERGEBNISSE: Von den 239 Lungenresektionen, die zwischen 2005 und 2006 durchgeführt wurden, erlitten sieben Patienten (2,9 %) 4 +/-0,8 Tage nach fünf Pneumonektomien und zwei Lobektomien ein schweres (Murray-Score: 2,9 +/-0,3) akutes progressives Lungenversagen, das sich nach 4 +/-2 Tagen konventioneller Therapie als therapierefraktär erwies. Der iLA Membranventilator[®] blieb 4,3 +/-2,5 Tage angeschlossen und wurde nur einmal aufgrund massiver Gerinnselbildung ausgetauscht. In dieser Zeit liefen 29 % +/-0,3 % oder 1,4 +/-0,36 l/Min. des Herzzeitvolumens ohne hämodynamische Beeinträchtigung durch das Gerät. Unter Anwendung eines Spülgasflusses von 10,7 +/-3,8 l/Min. ermöglichte das Gerät eine extrakorporale Kohlendioxidelimination von 255 +/-31 ml/Min., eine Ruhigstellung der Lunge (Tidalvolumen: 2,7 +/-0,8 ml/kg; Atemfrequenz: 6 +/-2 Atemzüge/Min.; inspiratorische Sauerstoffkonzentration: 0,5 +/-0,1), eine rasche (< 24 Stunden) signifikante Verbesserung der Atemfunktion sowie eine Reduktion des Interleukin-6-Spiegels im Plasma ($p < 0,001$) und Murray-Scores (1,25 +/-0,1; $p < 0,003$). Alle bis auf einen Patienten (14 %), der an Multiorganversagen starb, wurden 8 +/-3 Tage nach Entfernung des iLA Membranventilators[®] extubiert und aus dem Krankenhaus entlassen.

FAZIT: Die Kombination dieses Geräts mit einer quasi-statischen Beatmung der nativen Restlunge ist nicht nur praktisch durchführbar, sondern auch hocheffektiv bei Patienten mit therapierefraktärem, schwerem akutem progressivem Lungenversagen nach einer Lungenresektion.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18154817>



1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.10. Pflege & Management

PflegenIntensiv 2010; 3:41-45

Der pumpenfreie Lungenersatz

Prof. Dr. Thomas Bein
Klinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Regensburg

Seit ca. 30 Jahren hat sich die extrakorporale Lungenunterstützung (ECMO) bei schwerstem Lungenversagen etabliert. Bei diesem Verfahren handelt es sich um ein pumpengetriebenes System, das mit einem hohen technischen und personellen Aufwand verknüpft ist. Im Folgenden wird ein System vorgestellt, das auf den Einsatz einer Pumpe verzichtet.

Indikationen für iLA

Tab. 1

- Akutes Lungenversagen ohne lebensbedrohliche Hypoxämie (PaO₂/FIO₂ > 100) **
- Akute Exazerbation einer chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung, „status asthmaticus“ *
- Entwöhnungsversagen nach Langzeitbeatmung *

mit folgender Konstellation:

- Hyperkapnie und Azidose (pH < 7,25)
- Kein Schocksyndrom
- Moderate Vasopressorentherapie (z. B. Noradrenalin ≤ 0,4 µg/kg/min)
- keine höhergradige Pumpfunktionsstörung, kein Adrenalin
- kein Gerinnungsversagen

** – gesicherte Indikation, positive Studienergebnisse

* – nicht gesicherte Indikation, Einzelfallberichte, Kasuistiken

Vorgehen zur Insertion von iLA

Tab. 3

Vorbereitung des iLA-Systems	Luftfreies Füllen der Membranlunge mit physiologischer NaCl-Lösung
Auswahl der geeigneten Kanülen	Arterie: 15 French bzw. Kalkulation eines verbleibenden Lumens ≥ 30 % * Vene: + 2 Fr
Kanülierung	Vorgehen durch zwei erfahrene Ärzte, von denen einer punktiert, der andere den „freien Lauf“ des Seldinger-Drahtes kontrolliert
Gerinnung	Bolus-Applikation von 5000 I.E. Heparin unmittelbar nach Kanülierung, dann 400-800 I.E. kontinuierlich per Drei-Wege-Hahn in die arterielle Seite, Membraneingang
Start des iLA-Systems	Freigabe des Flusses Anschluss und schrittweise Erhöhung der O ₂ -Zufuhr bis 10 l/min * = 1 French (Fr) = 0,03 mm

Management des Patienten während iLA

Tab. 5

Maßnahme	Kommentar
Überwachung Blutfluss mittels Doppler-Schallkopf	Blutfluss ≥ 1 l/min, bei Reduktion bzw. Effektivitätsverlust: Membran tauschen
Lagerungsmaßnahmen	Prinzipiell: Membran nicht wesentlich über/unter Herzhöhe positionieren, da Gefahr der Luftleckage
Oberkörper-Hochlagerung	Winkel bis max. 30°, um Abknicken der Kanülen zu vermeiden. Auf ausreichenden mittleren arteriellen Blutdruck achten!
Bauchlage	Membranlunge nicht umdrehen, Schläuche verlaufen „über Kreuz“
Inspektion der Kanülen-Einstichstellen	Bisher keine Berichte über Kanülen- bzw. Membran-assoziierte Infektionen

http://www.bibliomed.de/pflegenintensiv/-/magazine/detail/IMPORT_19071

2. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.11. Untypische Anwendungsgebiete

Anästhesist 2011; 60(3):230-5

„Interventional-lung-assist“-Membranventilator. Erfolgreiche Anwendung trotz heparininduzierter Thrombozytopenie II.

J. Lange · D. Knüttgen · E. Stoelben · U. Bauerfeind · F. Wappler · S.G. Sakka
Klinik für Viszeral-, Gefäß- und Transplantationschirurgie, Klinikum der Universität Witten/Herdecke mit Sitz in Köln, Kliniken der Stadt Köln gGmbH, Krankenhaus Merheim, Köln, Deutschland.

Der im Folgenden dargestellte Fall schildert die erfolgreiche Anwendung des „Interventional-lung-assist“- (iLA-)Membranventilators (Novalung[®]) bei einer Patientin, die nach einem thoraxchirurgischen Eingriff ein schweres „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) und kurz danach ein akutes Nierenversagen entwickelte. Obwohl unter der Heparinisierung zudem eine heparininduzierte Thrombozytopenie vom Typ II (HIT II) auftrat, konnte das Verfahren über einen Zeitraum von fast 4 Wochen komplikationslos fortgesetzt werden. Ein solcher Fall ist nach Kenntnis der Autoren bisher nicht beschrieben worden. Angesichts des zunehmenden Einsatzes der iLA wird die geschilderte Problematik in Zukunft häufiger diskutiert werden müssen.

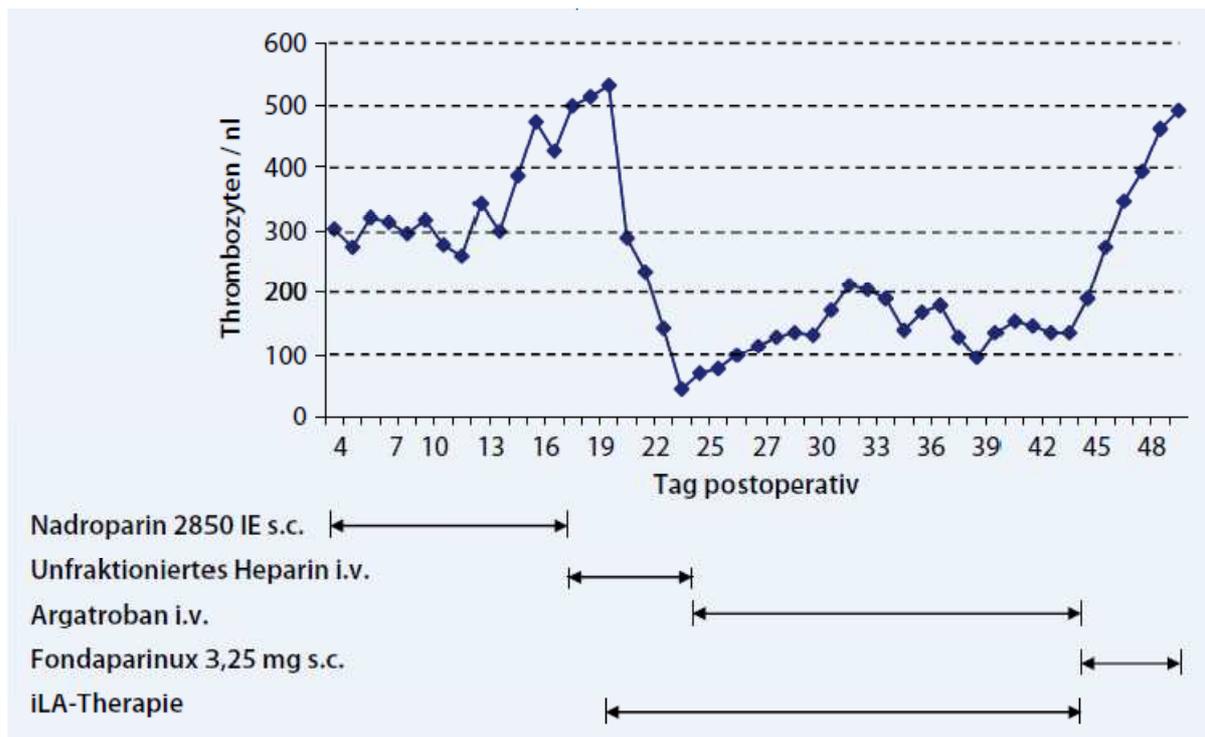


Abb. 1 ▲ Postoperativer Thrombozytenverlauf

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21184044>

American Journal of Transplantation, 2009, 9 (4): 853–7

Bridge to thoracic organ transplantation in patients with pulmonary arterial hypertension using a pumpless lung assist device

(Überbrückung bis zur thorakalen Organtransplantation bei Patienten mit pulmonaler arterieller Hypertonie mittels eines pumpenlosen Lungenunterstützungsgeräts)

Strüber, M.; Hoepfer, M. M.; Fischer, S.; Cypel, M.; Warnecke, G.; Gottlieb, J.; Pierre, A.; Welte, T.; Haverich, A.; Simon, A. R.; Keshavjee, S.

Klinik für Herz-, Thorax-, Transplantations- und Gefäßchirurgie, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland

Es wird eine neuartige Technik der pumpenlosen extrakorporalen Lebensunterstützung mittels eines pumpenlosen Lungenunterstützungsgeräts [iLA Membranventilator[®]] bei vier Patienten mit kardiogenem Schock aufgrund einer pulmonalen Hypertonie (PH) im Endstadium beschrieben. Einige der Patienten litten auch an einer Venenverschlusskrankheit (PVOD). Das Gerät wurde über den Truncus pulmonalis und das linke Atrium angeschlossen, wodurch ein Septostomie-ähnlicher Shunt, ergänzt durch die einzigartige Fähigkeit zum Gasaustausch, parallel zur Lunge etabliert wurde. Mithilfe dieses Verfahrens konnte bei allen vier Patienten die Zeit bis zur bilateralen Lungentransplantation bzw. kombinierten Herz-Lungen-Transplantation erfolgreich überbrückt werden. Obwohl alle Patienten unter einem kardiogenen Schock litten, bewirkte die hämodynamische Entlastung des rechten Ventrikels mithilfe des Lungenunterstützungssystems mit niedrigem Widerstand eine sofortige Stabilisierung der hämodynamischen Situation, sodass keine weitere Pumpenunterstützung erforderlich war.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19344471>

Anesthesiology and Analgesia, 2009, 109: 382–5

Emergency Interventional Lung Assist for Pulmonary Hypertension (*Notfallmäßige interventionelle Lungenunterstützung bei pulmonaler Hypertonie*)

Taylor, K.; Holtby, H.

Ein 15-jähriges Mädchen wurde zur Überbrückung bis zur bilateralen Lungentransplantation aufgrund einer pulmonalen Venenverschlusskrankheit an ein interventionelles Lungenunterstützungssystem [iLA Membranventilator[®]] angeschlossen. Dies ist die erste pädiatrische und jüngste Patientin, die mit diesem Gerät behandelt wurde. Bei der Patientin wurden eine Hypoxämie sowie schweres Rechtsherzversagen diagnostiziert. Sie wurde einer Notoperation zur Dekompression des rechten Ventrikels und Behandlung der Hypoxämie mittels eines interventionellen Lungenunterstützungssystems (iLA Membranventilator[®]) mit ECMO-Unterstützung zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation unterzogen. Wegen des erhöhten Narkoserisikos bei Patienten mit schwerer PH war eine femorale, arteriovenöse ECMO unter Lokalanästhesie ohne Sedierung geplant, um die Implantation des iLA Membranventilators[®] über eine Sternotomie zu erleichtern. Es wurde eine zentrale Kanülierung gewählt, um den Blutfluss zu optimieren, da der Pulmonalarteriendruck (PAD) der Patientin höher war als ihr systemischer Blutdruck. Außerdem war dadurch die Verwendung von Kanülen mit größerem Lumen möglich. Der iLA Membranventilator[®] sorgte für eine Kreislaufunterstützung mit Oxygenierung, wodurch während der Wartezeit bis zur Lungentransplantation kein Bedarf für eine extrakorporale Membranoxygenierung bestand. Die Patientin wurde auf die Intensivstation verlegt, die inotropen Mittel wurden abgesetzt und man ließ sie aufwachen. Die Rechtsherzfunktion verbesserte sich (Abb. 4). Das weitere Behandlungsregime für den iLA Membranventilator[®] umfasste die Gabe von Heparin für eine aktivierte Gerinnungszeit von 170 bis 190 Sekunden sowie eine Fluconazol- und Cefazolin-Prophylaxe. Die Patientin wurde am 3. Tag nach der Operation bei einem iLA Membranventilator[®]-Fluss von 1,8 bis 2,2 l/Min. und einem Sauerstofffluss von 2 ml/Min extubiert. Die Membran wurde problemlos ohne extrakorporale Unterstützung an Tag 18 im OP ausgetauscht, da es zu einer sichtbaren Gerinnselbildung und Verschlechterung des Gasaustausches kam. Die Patientin verblieb im Krankenhaus, atmete spontan, aß normal und war in der Lage, mit dem Gerät umherzulaufen. Sie zeigte kein erkennbares neurologisches Defizit. Die Patientin unterzog sich 30 Tage nach dem Eingriff einer bilateralen Lungentransplantation und wurde 25 Tage später entlassen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19608807>

The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2007, 133: 339–45

Experimental safety and efficacy evaluation of an extracorporeal pumpless artificial lung in providing respiratory support through the axillary vessels

(Experimentelle Evaluation der Sicherheit und Wirksamkeit einer extrakorporalen, pumpenlosen, künstlichen Lunge zur respiratorischen Unterstützung über die axillären Gefäße)

Iglesias, M.; Jungebluth, J.; Sibila, O.; Aldabo, I.; Matute, M. P.; Petit, C.; Torres, A.; Macchiarini, P.

ZIEL: Ziel war es, bei erwachsenen Schweinen zum einen die Sicherheit und Durchführbarkeit der Implantation des pumpenlosen interventionellen Lungenunterstützungsgeräts [iLA Membranventilator®] in die axillären Gefäße entweder mittels direkter Kanülierung oder End-zu-Seit-Protheseninterposition zu untersuchen. Zum anderen sollte die Fähigkeit der beiden Gefäßzugänge, während apnoeischer Beatmung respiratorische Unterstützung zu leisten, evaluiert werden.

METHODEN: Zehn Schweine wurden vier Stunden lang beatmet (Atemfrequenz: 20–25 Atemzüge/Min.; Tidalvolumen: 10–12 ml/kg, inspiratorische Sauerstoffkonzentration: 1,0; positiver endexpiratorischer Druck: 5 cm H₂O). Anschließend wurde das interventionelle Lungenunterstützungsgerät entweder mittels direkter Kanülierung (n = 5) oder End-zu-Seit-Interposition der ringverstärkten Polytetrafluorethylen-Prothese (n = 5) chirurgisch an die rechte Arteria und Vena axillaris angeschlossen. Die Ventilatoreinstellungen wurden so reduziert, dass eine quasi-apnoeische Beatmung erzielt wurde (Atemfrequenz: 4 Atemzüge/Min.; Tidalvolumen: 1–2 ml/kg; inspiratorische Sauerstoffkonzentration: 1,0; positiver endexpiratorischer Druck: 20 cm H₂O). Es wurden Blutflussvolumen und intrathorakales Blutvolumen sowie die Zytokinspiegel der Lunge gemessen.

ERGEBNISSE: Der Blutfluss durch das interventionelle Lungenunterstützungsgerät betrug 1,7 +/-0,4 l/Min. oder 30 % +/-14 % des Herzzeitvolumens und der mittlere Druckgradient im interventionellen Lungenunterstützungsgerät betrug 10 +/-2 mm Hg. Mit dem iLA Membranventilator® wurde ein O₂-Transport von 225,7 +/-70 ml/Min. und eine CO₂-Elimination von 261,7 +/-28,5 ml/Min. erzielt. Die Menge des Blutflusses durch das interventionelle Lungenunterstützungsgerät war zwar bei direkter Kanülierung mit 2,1 +/-0,3 l/Min. signifikant höher (p < 0,01) als bei der Protheseninterposition (1,3 +/-0,3 l/Min.), letztere Methode ermöglichte jedoch eine ähnliche respiratorische Unterstützung bei geringerer hämodynamischer Instabilität.

FAZIT: Die axillären Gefäße stellen eine sichere und Erfolg versprechende Kanülierungsstelle für die pumpenlose, partielle respiratorische Unterstützung dar. Verglichen mit der direkten Kanülierung ließ sich mit der Protheseninterposition eine gleichermaßen gute Unterstützung des Gasaustausches durch den iLA Membranventilator® während der apnoeischen Beatmung erzielen. Letztere Methode war jedoch mit einer besseren hämodynamischen Stabilität assoziiert.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17258560>



1. iLA MEMBRANVENTILATOR[®]

1.12. Diverse Anwendungen

ASAIO Journal, 57 (3): 164–8

Addition of Acetylsalicylic Acid to Heparin for Anticoagulation Management During Pumpless Extracorporeal Lung Assist (Zusätzliche Gabe von Acetylsalicylsäure zu Heparin zum Gerinnungsmanagement während der pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützung)

Thomas Bein, Markus Zimmermann, Alois Philipp, Michael Ramming, Barbara Sinner, Christof Schmid, Thomas Müller, Bernhard Graf, Hans Jürgen Schlitt, Steffen Weber-Carstens
Klinik für Anästhesiologie, Klinik und Poliklinik für Herz-, Thorax- und herznahe Gefäßchirurgie, für Innere Medizin und für Chirurgie, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg, und Klinik für Anästhesiologie mit Schwerpunkt operative Intensivmedizin, Charité, Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland

Die pumpenbetriebene extrakorporale Membranoxygenierung (ECMO) und die pumpenlose, arteriovenöse, interventionelle Lungenunterstützung (iLA) sind mit potenziellen Komplikationen assoziiert, die hauptsächlich in Blutungen oder Thrombosen/Gerinnselbildung durch Zellablagerungen auf der Membran oder den Oberflächen des extrakorporalen Kreislaufs bestehen. Diese können die Gasaustauschkapazität reduzieren. In dieser Studie wird über Erfahrungen mit der zusätzlichen Gabe niedrig dosierter Acetylsalicylsäure (ASS, 1,5 mg/kg Körpergewicht/Tag) zu Heparin zur Antikoagulation einer pumpenlosen Gasaustauschmembran mit niedrigem Widerstand (Novalung GmbH, Talheim, Deutschland) berichtet. Es wurden die Veränderungen der Gerinnungsparameter sowie die Notwendigkeit einer Transfusion von Blutbestandteilen evaluiert. Des Weiteren wurde die Funktion der künstlichen Membranen (Sauerstofftransport und Fähigkeit zur CO₂-Elimination) in der ASS-Gruppe (n = 15) mit der einer parallelisierten Kontrollgruppe (Matched Pairs) verglichen, die nur mit Heparin behandelt wurde. Die mittlere Dauer der iLA-Behandlung betrug 6,6 +/-3,7 Tage. Die zusätzliche Gabe von ASS führte weder zu einer erhöhten Blutungsaktivität noch zu einem erhöhten Bedarf für eine Transfusion. Relative Veränderungen der CO₂-Elimination an Tag 3, ausgedrückt in Prozent, betragen in der ASS-Gruppe -11,8 % (Mittelwert) und in der Kontrollgruppe -3,0 % (p = 0,266). Die relative Menge an transportiertem Sauerstoff war in der ASS-Gruppe jedoch in der Regel erhöht (+3,9 %), in der Kontrollgruppe hingegen verringert (-14,7 %, p = 0,214). Der paO₂/FIO₂-Quotient war an Tag 5 in der ASS-Gruppe verglichen mit der Kontrollgruppe signifikant verbessert. Die verwendete Anzahl an Membranen pro Patient (Membran-/Patient-Quotient) war in der Regel bei den mit ASS behandelten Patienten niedriger (1,12 +/-0,34) als in der Kontrollgruppe (1,33 +/-0,62, p = 0,157). In der ASS-Gruppe verstarb ein Patient an Multiorganversagen, in der Kontrollgruppe verstarben hingegen fünf Patienten. Es wird gefolgert, dass die ergänzende Gabe niedrig dosierter ASS während der pumpenlosen extrakorporalen Lungenunterstützung sicher ist und dazu beitragen kann, die Sauerstofftransportleistung aufrecht zu erhalten.

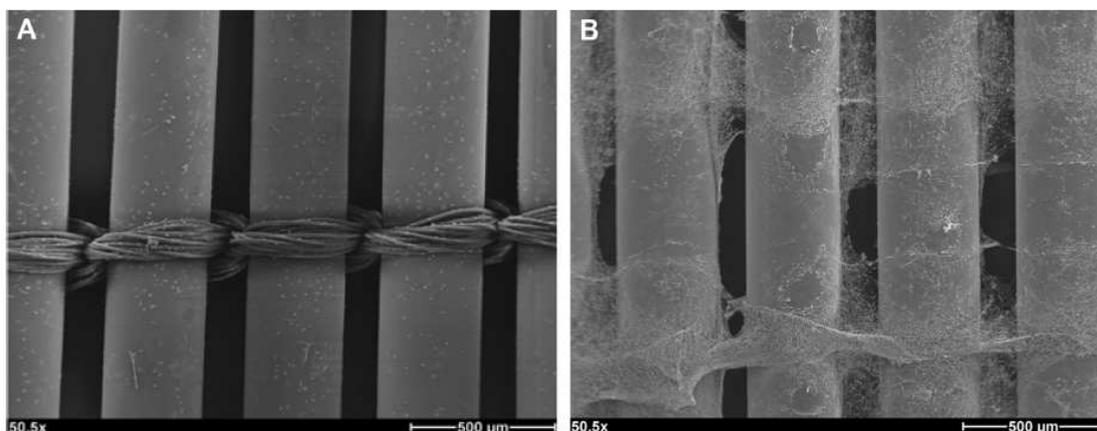


Abb. 1: Elektronenmikroskopische Aufnahme von iLA-Mikrofasern (Darstellung der äußeren Oberfläche der Fasern) nach Anwendung unter zusätzlicher Gabe von ASS (A) und nach Anwendung unter Gabe von Heparin alleine (B). Beachten Sie die beginnende Fibrinnetzbildung in (B). iLA: interventionelles Lungenunterstützungssystem; ASS: Acetylsalicylsäure

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21427564>

ASAIO Journal, 1997, 43: M821–4

Organ blood flow during arteriovenous carbon dioxide removal (*Organperfusion während der arteriovenösen Kohlendioxidelimination*)

Brunston, R. L., Jr.; Tao, W.; Bidani, A.; Traber, D. L.; Zwischenberger, J. B.
Abteilung für Chirurgie, Institut für Medizin der Universität Texas, Galveston 77550-0528, USA

In Tiermodellen der arteriovenösen Kohlendioxidelimination [iLA Membranventilator[®]] wurde während der Behandlung der schweren respiratorischen Insuffizienz eine Ruhigstellung der Lunge erreicht. Dabei wurde eine komplette CO₂-Elimination bei Flussraten des arteriovenösen Shunt von 10 % bis 25 % des Herzzeitvolumens (HZV) erzielt. Zuvor waren bei längerer Anwendung (über 7 Tage) des iLA Membranventilators[®] mit Shunt-Flüssen von 25 % des HZV keine statistisch signifikanten Veränderungen hinsichtlich Herzfrequenz, Herzzeitvolumen, mittlerem arteriellem Druck oder Pulmonalarteriendruck verzeichnet worden. In dieser Studie wurden zur Bestimmung des Effekts verschiedener Shunt-Flussraten auf die Organperfusion farbige Mikrosphären an einem bewusstseinsklaren Schafmodell des iLA Membranventilators[®] verwendet. Ein 2,5-m²-Oxygenator mit niedrigem Widerstand wurde an einen einfachen arteriovenösen Kreislauf zwischen Karotis und Vena jugularis angeschlossen. Der iLA Membranventilator[®]-Fluss (Q_b) wurde schrittweise auf 5 %, 10 %, 15 %, 20 % und 25 % des Baseline-HZV erhöht. Nach der Äquilibration wurden farbige Mikrosphären in einen linksatrialen Katheter injiziert und parallel dazu wurde eine Referenzblutprobe über eine arterielle Leitung bei konstanter Aspirationsrate entnommen. Die durch Messung der Mikrosphären in den Geweben ermittelte Organperfusion nahm bei einem Shunt-Fluss von 5 % um etwa 10 bis 20 % ab, blieb danach jedoch bis zu einem Shunt-Fluss von 25 % relativ unverändert. Die verminderte Perfusion wurde gut vertragen und es gab keine hämodynamischen Folgen oder Anzeichen einer Ischämie der Endorgane. Daraus wurde gefolgert, dass der iLA Membranventilator[®] bei der respiratorischen Insuffizienz eine Ruhigstellung der Lunge mit Flussraten von 10 bis 25 % des HZV erzielen kann. In der Folge kommt es zu einer leichten Verringerung der Perfusion wichtiger Organe, die jedoch anscheinend gut vertragen wird.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9360161>

The Annals of Thoracic Surgery, 1997, 64: 1599–604

Total arteriovenous CO₂ removal: simplifying extracorporeal support for respiratory failure

(Komplette CO₂-Elimination: Vereinfachung der extrakorporalen Unterstützung bei respiratorischer Insuffizienz)

Brunston, R. L., Jr.; Zwischenberger, J. B.; Tao, W.; Cardenas, V. J., Jr.; Traber, D. L.; Bidani, A.
Abteilung für Chirurgie, Institut für Medizin der Universität Texas und Shriners Burns Institute,
Galveston 77555-0528, USA

HINTERGRUND: Um die Komplexität, Komplikationen und Kosten der konventionellen extrakorporalen Membranoxygenierung zu reduzieren, wurde eine Technik zur vereinfachten arteriovenösen extrakorporalen CO₂-Elimination [iLA Membranventilator®] entwickelt. Diese verwendet einen Membranoxygenator mit niedrigem Widerstand, mit dem eine komplette CO₂-Elimination zur Ruhigstellung der Lunge bei schwerer respiratorischer Insuffizienz erzielt wird.

METHODEN: Zu Beginn wurde der iLA Membranventilator® an gesunden Tieren angewendet, um die Gasaustauschfähigkeit des Systems zu bestimmen und Protokolle für das Beatmungsmanagement zu erstellen. Diese dienten als Grundlage für die nachfolgenden Studien mit dem iLA Membranventilator® an einem Großtiermodell der respiratorischen Insuffizienz infolge einer schweren Schädigung durch Rauchinhalation.

ERGEBNISSE: Bei gesunden Schafen lag der maximale, spontane, arteriovenöse Fluss zwischen 1.350 und 1.500 ml/Min., während sich die CO₂-Elimination bei einem Blutfluss von ca. 1.000 ml/Min. stabilisierte, bei dem 112 +/-3 ml CO₂/Min. entfernt wurden. Dadurch konnte das Minutenvolumen um 84 % von 6,9 +/-0,8 l/Min. auf 1,1 +/-0,4 l/Min. (p < 0,01) reduziert werden, ohne eine Hyperkapnie auszulösen. Eine anschließende Reduktion des extrakorporalen Flusses bei vermindertem Minutenvolumen führte erst bei Werten unter 500 ml/Min. zu einer Hyperkapnie. Der iLA Membranventilator® wurde auch bei mechanisch beatmeten Schafen mit einer schweren Schädigung durch Rauchinhalation angewendet und entfernte bei diesen 95 % (111 +/-4 ml/Min.) des insgesamt produzierten CO₂. In der Folge konnte das Minutenvolumen um 95 % und der inspiratorische Spitzendruck um 52 % (beide p < 0,05) über sechs Stunden hinweg reduziert werden, ohne dass es zu unerwünschten hämodynamischen Folgen kam. Der arterielle Sauerstoff-Partialdruck wurde auf einer Höhe von über 100 mm Hg bei maximal verringertem Minutenvolumen gehalten. Der mittlere iLA Membranventilator®-Fluss betrug 1.213 +/-29 ml/Min., was durchschnittlich 27 % +/-1 % des Herzzeitvolumens entsprach.

FAZIT: Es wird der Schluss gezogen, dass der iLA Membranventilator® in einem einfachen arteriovenösen Shunt eine weniger komplizierte Technik darstellt als die extrakorporale Membranoxygenierung. Außerdem kann er eine komplette CO₂-Elimination erzielen, die eine signifikante Reduktion des Minutenvolumens und Atemwegsspitzen drucks bei der schweren respiratorischen Insuffizienz erlaubt.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9436542>



ASAIO Journal, 1996, 42: M845–9

Determination of low blood flow limits for arteriovenous carbon dioxide removal

*(Bestimmung der Mindest-Blutflussraten für die arteriovenöse Kohlendioxidelimination)*Brunston, R. L., Jr., Tao, W.; Bidani, A.; Cardenas, V. J., Jr.; Traber, D. L.; Zwischenberger, J. B.
Abteilung für Chirurgie, Institut für Medizin der Universität Texas, Galveston 77555-0528, USA

Mit der arteriovenösen Kohlendioxidelimination [iLA Membranventilator[®]] lässt sich erwiesenermaßen ein kompletter Kohlendioxid-(CO₂-)Austausch erzielen. Um die optimalen Blut- und Gasflussparameter für einen maximalen Gasaustausch zu ermitteln und den Nutzen des iLA Membranventilators[®] bei vermindertem Blutfluss zu evaluieren, wurde bei mechanisch beatmeten Schafen ein Membranoxygenator mit niedrigem Widerstand in einem arteriovenösen Shunt verwendet. Erwachsene weibliche Schafe (n = 5) wurden narkotisiert und über einen einfachen arteriovenösen Shunt, der zwischen der Karotis und der Vena jugularis communis etabliert wurde, an den Oxygenator angeschlossen. Die CO₂-Elimination wurde als das Produkt des Spülgasflusses (100 % Sauerstoff) und dessen Abgas (CO₂)-Gehalts bestimmt. Gas- und Blutfluss wurden unabhängig voneinander variiert und das Minutenvolumen (MV) wurde bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung einer Normokapnie schrittweise reduziert. Bei maximal reduzierten Ventilatoreinstellungen wurde der Blutfluss schrittweise vermindert, um die resultierenden Änderungen im paCO₂ bei einem Spülgasfluss von 3 l/Min. zu ermitteln. Die CO₂-Elimination stieg proportional zum Blutfluss bis auf ein Maximum von 1.417 +/-26 ml/Min. (19 % des Herzzeitvolumens) bei einem Gasfluss von 3 l/Min. an. Unter minimaler Ventilatorunterstützung (MV = 16 % des Baseline-MV) mit einem Blutfluss von 500 ml/Min. oder höher konnten ein normales paO₂ und paCO₂ aufrechterhalten werden. Bei diesen maximal reduzierten Ventilatoreinstellungen kam es nur dann zu einer moderaten Hyperkapnie (paCO₂ ≤ 75 mm Hg), wenn der Blutfluss auf weniger als 500 ml/Min. verringert wurde. Durch Optimierung des Blut- und Gasflusses des iLA Membranventilators[®] wird eine maximale CO₂-Elimination erzielt und eine signifikante Reduzierung des Minutenvolumens ermöglicht. Selbst in Fällen mit stark eingeschränktem Blutfluss kann noch eine Ruhigstellung der Lunge mit moderater Hyperkapnie erreicht werden. Bei über einen perkutanen Zugang erreichbaren Flussraten kann die Lunge mithilfe des extrakorporalen iLA Membranventilators[®] während der mechanischen Beatmung ruhig gestellt werden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8945003>

2. iLA ACTIVE[®] PUMPENBETRIEBEN (VV, VA)

The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2010, 140: 558–563

Single double-lumen venous-venous pump-driven extracorporeal lung membrane support

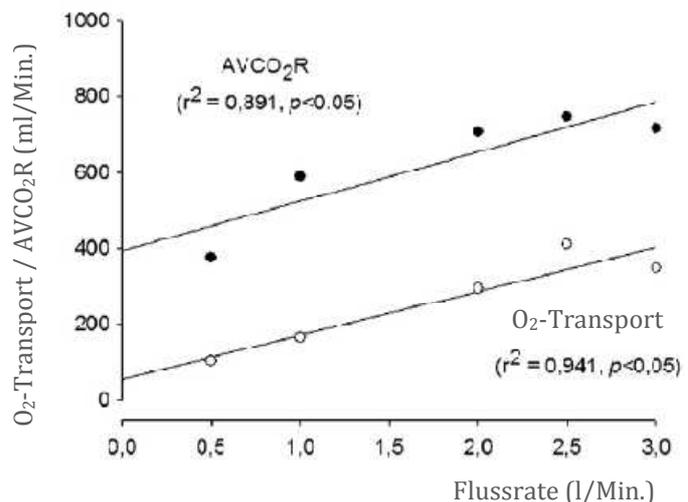
(Venovenöse, pumpenbetriebene, extrakorporale Lungenunterstützung mittels Membranlung mit Anschluss über eine einzige doppellumige Kanüle)

Sanchez-Lorente, D.; Go, T.; Jungebluth, P.; Rovira, I.; Mata, M.; Ayats, M. C.; Macchiarini, P.

ZIEL: Ziel war es, die Sicherheit und praktische Anwendbarkeit der totalen Atemunterstützung über 72 Stunden mittels einer pumpenbetriebenen (Levitronix CentriMag, Levitronix LLC, Waltham, Massachusetts, USA), venovenösen, extrakorporalen Membranlung (Novalung, Novalung GmbH, Hechingen, Deutschland), die über eine einzige doppellumige Kanüle (Novalung) an die Vena femoralis oder Vena jugularis angeschlossen wurde, bei Schweinen zu untersuchen.

Methoden: Zwölf Schweine wurden zunächst zwei Stunden lang mechanisch beatmet (Atemfrequenz: 20–25 Atemzüge/Min.; Tidalvolumen: 10–12 ml/kg; inspiratorische Sauerstoffkonzentration: 1,0; positiver endexpiratorischer Druck: 5 cm H₂O). Anschließend wurde die extrakorporale Membranlung transkutan über eine einzige doppellumige Kanüle an die rechte Vena femoralis (n = 6, 26 F) oder jugularis (n = 6, 22 F) angeschlossen. Die Ventilatoreinstellungen wurden dann so reduziert, dass eine quasi-apnoeische Beatmung erzielt wurde (Atemfrequenz: 4 Atemzüge/Min.; Tidalvolumen: 1–2 ml/kg; inspiratorische Sauerstoffkonzentration: 0,21; positiver endexpiratorischer Druck: 10 cm H₂O), und der Pumpenfluss wurde stündlich erhöht, bis eine maximale Wirkung erreicht war. Blutgase und hämodynamische Werte wurden stündlich gemessen, die Zytokinkonzentrationen in Lunge und Plasma alle vier Stunden.

Ergebnisse: Der mittlere Blutfluss durch das Gerät betrug 2,16 l/Min., wodurch ein Sauerstofftransport von 203,6 ml/Min. und eine Kohlendioxidelimination von 590,3 ml/Min. erzielt werden konnten. Trotz der statischen Beatmung zeigten alle Schweine eine optimale Atemunterstützung. Die Werte für paO₂, paCO₂ und gemischt-venöse Sauerstoffsättigung betragen 226,2, 59,7 und 85,6 mmHg. Es gab keine signifikanten Entzündungs-, zellulären oder Koagulationsreaktionen. Die Zytokinkonzentration in der Lunge blieb im normalen Bereich. Die Lage (V. femoralis vs. V. jugularis) oder Größe (22 F vs. 26 F) der Kanüle hatte keinen signifikanten Einfluss auf die hämodynamischen oder respiratorischen Parameter.



Fazit: Dieser Kreislauf sorgt für eine totale Atemunterstützung über 72 Stunden hinweg, ohne signifikante hämodynamische, zelluläre, Koagulations- oder Entzündungsreaktionen zu induzieren.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20723725>

Interactive CardioVascular and Thorac. Surg., 2009, 9: 780–3

Temporary cardiac support with a mini-circuit system consisting of a centrifugal pump and a membrane ventilator

(Temporäre Herzunterstützung mit einem miniaturisierten Kreislaufsystem bestehend aus einer Zentrifugalpumpe und einem Membranventilator)

Meyer, A. L., Strüber, M.; Tomaszek, S.; Görler, A., Simon, A. R.; Haverich, A.; Fischer, S.
Klinik für Herz-, Thorax-, Transplantations- und Gefäßchirurgie, Medizinische Hochschule Hannover, Hannover, Deutschland

Die Anwendung gebräuchlicher Systeme zur extrakorporalen Membranoxygenierung (ECMO) zur Herzunterstützung unterliegt aufgrund des Risikos akuter Blutungen, insbesondere nach chirurgischen Eingriffen bei erwachsenen Patienten, gewissen Einschränkungen. Kürzlich stellten wir von einem konventionellen ECMO-System auf einen miniaturisierten Kreislauf mit Zentrifugalpumpe und dem Novalung-Membranventilator [iLA Membranventilator[®]] um. Bei Verwendung dieses Systems können geringere Dosen Heparin verabreicht werden als mit dem konventionellen System. Zwischen Januar und August 2007 wurden 1.469 Patienten in unserem Zentrum einer Herzoperation unterzogen. 18 dieser Patienten (1,2 %) erforderten eine temporäre postoperative Unterstützung durch ein ECMO-System. Bei diesen Patienten wurden unter anderem folgende chirurgische Eingriffe vorgenommen: Koronararterien-Bypass (n = 5), Klappenersatz (n = 2), Aortenoperation (n = 2) und Herztransplantation (n = 3). Das mittlere Alter der 18 Patienten betrug 50 +/-15 Jahre (n = 13 männliche Patienten) mit einer mittleren Dauer der ECMO-Unterstützung von 4,3 Tagen (Spanne: < 1 bis 14 Tage). Zwölf Patienten (67 %) konnten erfolgreich vom ECMO-System entwöhnt werden. Das 30-Tages-Überleben lag bei 44 % mit einer Krankenhausmortalität von 61 %. Eine Rethorakotomie wegen Nachblutungen war bei sechs Patienten (33 %) unter ECMO-Unterstützung erforderlich. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das miniaturisierte ECMO-System zur mittelfristigen Herzunterstützung geeignet zu sein scheint und nur mit einer geringen Blutungsrate verbunden ist.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19671580>

ASAIO Journal, 2008, 54: 3–10

Interventional lung assist: a new concept of protective ventilation in bridge to lung transplantation

(Die interventionelle Lungenunterstützung: ein neues Konzept der protektiven Beatmung zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation)

Fischer, S.; Hoeper, M. M.; Bein, T.; Simon, A. R.; Gottlieb, J.; Wisser, W.; Frey, L.; Van Raemdonck, D.; Welte, T.; Haverich, A.; Strüber, M.

Klinik für Thorax-, Herz- und Gefäßchirurgie, Programm für thorakale Transplantation und Herzunterstützung Hannover, Medizinische Hochschule Hannover, Deutschland

Am 22. März 2006 wurde in Hannover die erste Konsensus-Konferenz zum Thema „Interventionelle Lungenunterstützung“ [iLA Membranventilator[®]] unter Leitung des Programms für thorakale Transplantation und Herzunterstützung Hannover an der Medizinischen Hochschule Hannover abgehalten. Führende Experten auf den Gebieten Lungentransplantation, respiratorische und Intensivmedizin, Lungenversagen, mechanische Beatmung, extrakorporale Lebensunterstützung und künstliche Lunge waren formell eingeladen worden. Das Hauptziel war es, auf der Grundlage früherer klinischer Erfahrungen mit dem iLA Membranventilator[®] einen Konsensus für die Anwendung dieses Geräts zur Überbrückung bis zur Lungentransplantation zu etablieren.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18204308>

ASAIO Journal, 2005, 51 (4): 390–397

A Polymethylpentene Fiber Gas Exchanger for Long-Term Extracorporeal Life Support.

(Ein Oxygenator aus Polymethylpenten-Faser für die extrakorporale Langzeit-Lebensunterstützung)

Toomasian, J. M.; Schreiner, R. J.; Meyer, D. E.; Schmidt, M. E.; Hagan, S. E.; Griffith, G. W.; Bartlett, R. H.; Cook, K. E.

Die Leistungsfähigkeit und potenzielle klinische Anwendung eines Oxygenators aus Polymethylpenten (PMP)-Faser zur extrakorporalen Lebensunterstützung (ECLS) wurde an gesunden Schafen (35 bis 42 kg) untersucht. Fünf PMP-Geräte (1,3 m²) wurden mit fünf Membranlungen aus Silikongummi (SRML; 1,5 m²) unter venovenöser ECLS über 72 Stunden hinweg verglichen. In den beiden Gerätegruppen wurden die Unterschiede hinsichtlich Gasaustausch, Druckgradient des Geräts, Hämatologie, blutbiochemischen Werte und Pathologie ermittelt.

Die Ergebnisse zeigten, dass die PMP-Geräte bei ähnlichen Blutflussraten sowohl hinsichtlich Sauerstoff- als auch CO₂-Austausch überlegen waren. Thrombozytenverbrauch und Druckgradient des Geräts waren bei Anwendung des PMP-Geräts signifikant niedriger. Der Geräte-Druckgradient betrug bei allen Blutflussraten bei den PMP-Geräten < 20 mmHg verglichen mit > 150 mmHg bei den SRML-Geräten. Hinsichtlich der Veränderungen der Hämoglobinkonzentrationen im Plasma, Leukozytenzahlen, blutchemischen Werte und pathologischen Befunde zeigten sich zwischen den beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede. Bei keinem der untersuchten Geräte kam es zu einer Plasmaleckage oder Funktionsstörung des Geräts.

Diese Daten sprechen für die Anwendung des PMP-Geräts zur langfristigen Kreislaufunterstützung. Dank der besseren Schonung der Thrombozyten kann sich dieses Gerät als vorteilhafter für Patienten erweisen, und der geringe Widerstand kann eine breitere Anwendung von Zentrifugalpumpen oder die Anwendung des Geräts in einem pumpenlosen arteriovenösen Modus ermöglichen.

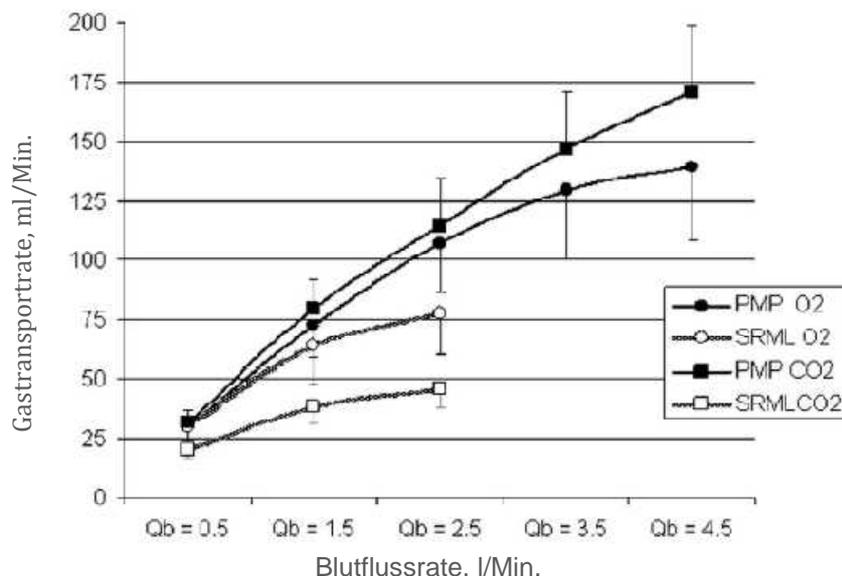


Abbildung 2: Sauerstoff- und Kohlendioxidtransport mit Veränderungen im Blutfluss

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16156305>

3. iLA[®] & HFOV

Journal of Critical Care, 2010, DOI: 10.1016/j.jcrc.2009.11.004

Combination of high frequency oscillatory ventilation and interventional lung assist in severe acute respiratory distress syndrome (*Kombination von Hochfrequenzbeatmung und interventioneller Lungenunterstützung beim schweren akuten progressiven Lungenversagen*)

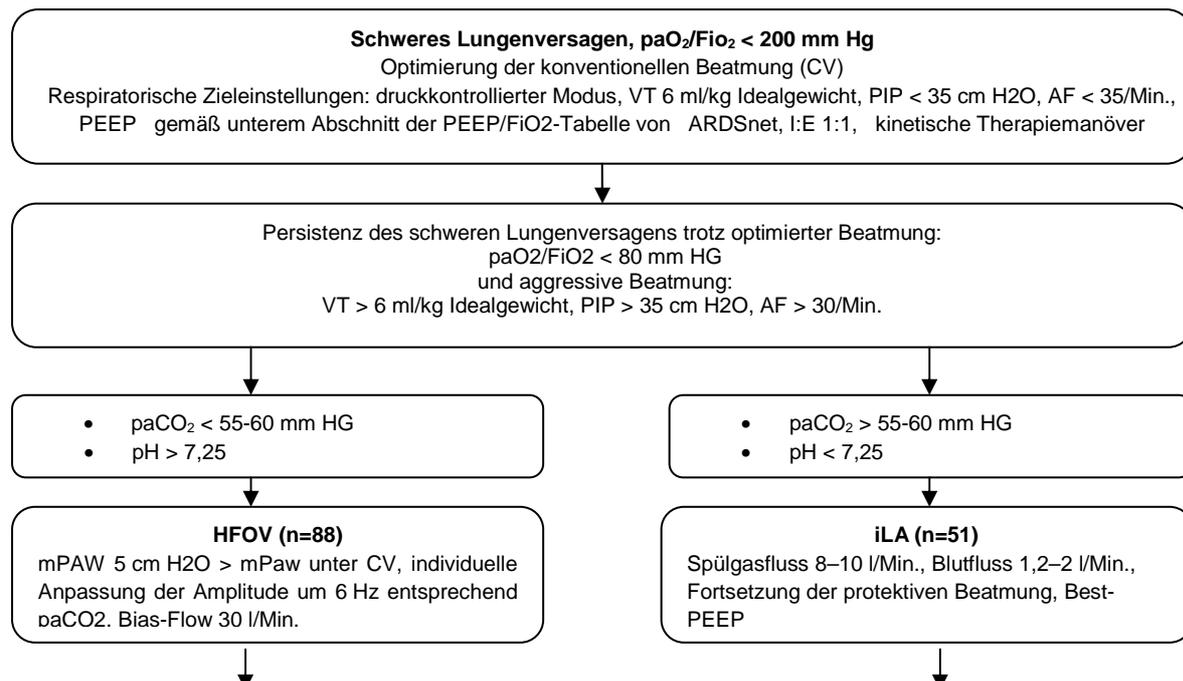
Lubnow, M.; Luchner, A.; Philipp, A.; Buchner, S.; Jeron, A.; Karagiannidis, C.; Bein, T.; Pawlik, M.; Jungbauer, C.; Schmid, C.; Riegger, G. A.; Pfeifer, M.; Müller T.

Klinik und Poliklinik für Innere Medizin II, Universitätsklinikum Regensburg, 93053 Regensburg, Deutschland

Hintergrund: Die Kombination von Hochfrequenzbeatmung (HFOV) und extrakorporaler Kohlendioxidelimination mit dem interventionellen Lungenunterstützungssystem (iLA) stellt eine neue Behandlungsoption beim schweren akuten progressiven Lungenversagen (ARDS) dar.

Methoden: Die Studie basierte auf einer retrospektiven monozentrischen Analyse von 21 konsekutiven erwachsenen Patienten mit schwerem ARDS, die mit HFOV in Kombination mit dem iLA beatmet wurden. Wirksamkeit, Nebenwirkungen und Outcome der Kombinationstherapie werden als Median (Interquartilbereich) dargestellt.

Messungen und Hauptergebnisse: Folgende Scores wurden zur Bestimmung der Patientencharakteristika verwendet: Sequential Organ Failure Assessment-Score: 14; Simplified Acute Physiology-Score II: 41 und MurrayScore: 4. Die Dauer der Kombinationstherapie betrug 6 Tage. Der Blutfluss durch den iLA betrug 1,9 l/Min. Der Quotient aus paO_2 und inspirierter Sauerstoffkonzentration erhöhte sich innerhalb von zwei Stunden von 61 (47 bis 86) auf 98 (67 bis 116) und nach 24 Stunden auf 106 (70 bis 135) mm Hg. Der $paCO_2$ sank innerhalb von zwei Stunden von 58 (50 bis 76) auf 37 (29 bis 47) mm Hg und der pH normalisierte sich innerhalb von zwei Stunden von 7,28 (7,16 bis 7,36) auf 7,43 (7,33 bis 7,49), wodurch es zu einer hämodynamischen Stabilisierung kam. Bei sechs Patienten wurden durch die iLA-Behandlung verursachte Komplikationen beobachtet und bei drei Patienten traten Komplikationen im Zusammenhang mit der HFOV auf. Zehn Patienten konnten erfolgreich von der HFOV / vom iLA entwöhnt werden. Die 30-Tages-Mortalität lag bei 43 % und die Mortalitätsrate im Krankenhaus betrug 57 %.



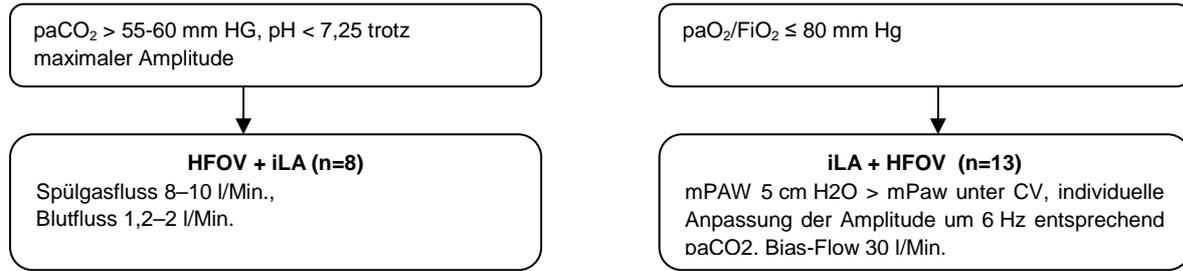


Abb. 1: Algorithmus für die Initiierung der HFOV- und iLA-Behandlung bei Patienten mit schwerem Lungenversagen, bei denen eine konventionelle Therapie nicht erfolgreich war. n steht für die Anzahl an Patienten, die während des Studienzeitraums mit jeder Modalität behandelt wurden.

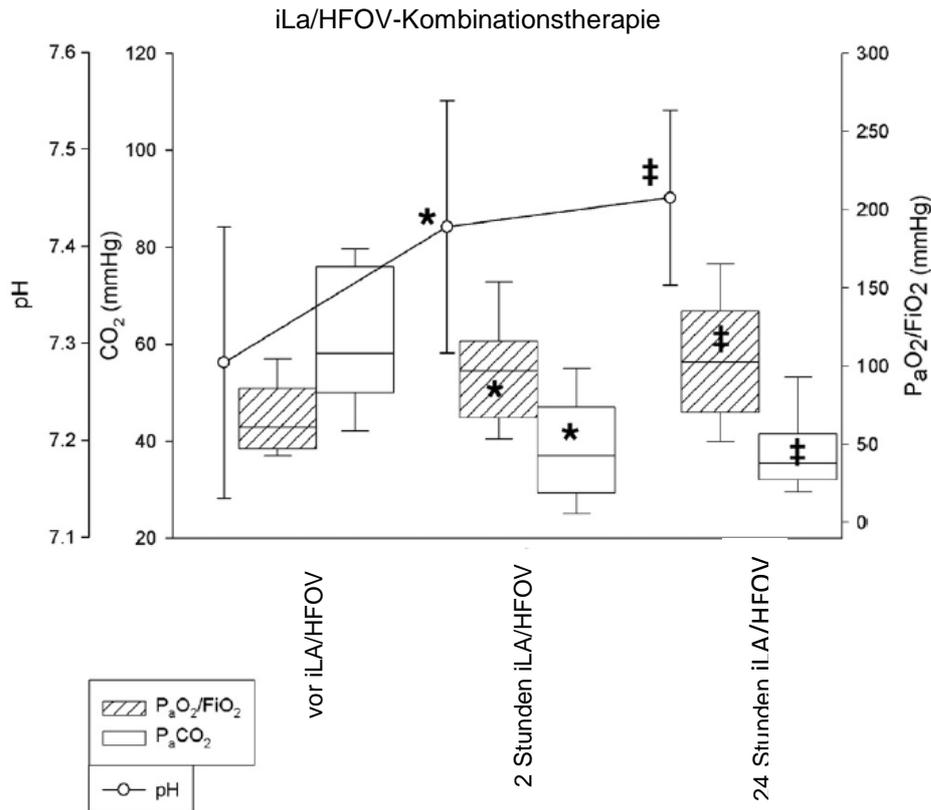


Abb. 2: Kombinationsbehandlung mit interventionellem Lungenunterstützungsgerät/HFOV. paO_2/FiO_2 -Quotient, $paCO_2$ und pH vor (vor iLA/HFOV), nach 2 Stunden und nach 24 Stunden unter Kombinationsbehandlung mit iLA und HFOV (2 Stunden iLA/HFOV und 24 Stunden iLA/HFOV). Box-Whisker-Diagramme (95., 75., 50., 25. und 5. Perzentil). Stern markiert P b 0,05 gegenüber Vorwert, Doppelkreuz markiert P b 0,05 gegenüber erstem Wert.

FAZIT: Die Kombination von HFOV und iLA stellt bei bestimmten Patienten eine mögliche Rescue-Therapie beim schweren Lungenversagen dar. Die Techniken ergänzen sich gegenseitig. HFOV als eine potenziell äußerst protektive Form der Beatmung kann zu einer nachhaltigen Verbesserung der Oxygenierung führen, und iLA kann die extrakorporale CO_2 -Elimination durch rasche Normalisierung der respiratorischen Azidose und damit einhergehender hämodynamischer Stabilisierung unterstützen. Dies kann die Anwendung weniger schädlicher Ventilatoreinstellungen ermöglichen, was entscheidend ist für den langfristigen Behandlungserfolg. Hochfrequenzbeatmung und iLA unter Verwendung kleinerer Kanülen können außerdem eine Alternative zur veno-venösen ECMO bei der Behandlung erwachsener Patienten mit schwerem ARDS darstellen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20074908>

Experimental Lung Research, 2010, 36: 148–58

High-frequency oscillation combined with arteriovenous extracorporeal lung assist reduces lung injury

(Die Kombination von Hochfrequenzbeatmung und arteriovenöser extrakorporaler Lungenunterstützung führt zu einer Verbesserung des Lungenversagens)

Muellenbach, R. M.; Kredel, M.; Wilhelm, J.; Küstermann, J.; Fink, L.; Siebenliet, G.; Klosterhalfen, B.; Förster, C. Y.; Kranke, P.; Wunder, C.; Roewer, N.; Brederlau, J.
Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Würzburg, Würzburg, Deutschland

Für eine optimale Lungenprotektion während der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) wird derzeit empfohlen, die Oszillationsfrequenz maximal zu erhöhen. Sehr hohe Frequenzen können jedoch zu einer unzureichenden CO₂-Elimination mit schwerer respiratorischer Azidose führen. Das arteriovenöse extrakorporale Lungenunterstützungssystem iLA Membranventilator[®] ermöglicht eine nahezu komplette CO₂-Elimination und somit eine maximale Lungenprotektion bei der HFOV. Ziel dieser Studie war es, die Wirkung von HFOV und iLA Membranventilator[®] auf die Entzündung und Funktion der Lunge im Vergleich zur konventionellen lungenprotektiven Beatmung zu evaluieren. In einem Schweinmodell des Lungenversagens mit Surfactant-Depletion wurden 16 weibliche Schweine randomisiert entweder einer konventionellen lungenprotektiven Beatmung oder der HFOV mit iLA Membranventilator[®] zugeteilt. Beide Strategien wurden nach dem Konzept der „offenen Lunge“ angewendet. Gasaustausch und hämodynamische Parameter wurden während des 24-stündigen Studienzeitraums in regelmäßigen Intervallen gemessen. Das Lungengewebe wurde in einer Post-Mortem-Analyse untersucht, um den histologischen Schaden und Entzündungsgrad der Lunge zu bestimmen. Es wurde festgestellt, dass die Kombination von HFOV und iLA Membranventilator[®] (1) eine signifikante Reduktion des mittleren und Atemwegsspitzen drucks ermöglicht und (2) die histologischen Zeichen einer Lungenentzündung in den basalen Anteilen der Lunge verringert. Die Kombination von HFOV mit dem iLA Membranventilator[®] reduziert die histologischen Zeichen der Lungenentzündung verglichen mit konventionellen lungenprotektiven Beatmungsstrategien. Somit könnte die Kombination von HFOV und iLA Membranventilator[®] eine alternative lungenprotektive Behandlungsoption darstellen, wenn konventionelle Beatmungsstrategien fehlschlagen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20334609>

Journal of Trauma, 2008, 64: E65–E68

Arteriovenous Extracorporeal Lung Assist and High Frequency Oscillatory Ventilation in Post-Traumatic Acute Respiratory Distress Syndrome

(Arteriovenöse extrakorporale Lungenunterstützung und Hochfrequenzbeatmung beim posttraumatischen akuten progressiven Lungenversagen)

Brederlau, J.; Anetseder, M.; Schoefinius, A.; Wurmb, T.; Muellenbach, R.; Kredel, M.; Schwemmer, U.; Zahn, P.; Thiel, A., Roewer, N.

Das posttraumatische akute progressive Lungenversagen (ARDS) infolge einer Lungenkontusion ist eine häufige Komplikation bei Verkehrsunfällen mit hohen Geschwindigkeiten. Hier wird ein Fall mit schwerem ARDS vorgestellt, der mit einer Kombination von [iLA Membranventilator[®]] und HFOV behandelt wurde. Durch die Behandlung mit dem iLA Membranventilator[®] wurde der Zustand des Patienten bereits vor dem Interhospitaltransfer verbessert und eine ausgezeichnete CO₂-Elimination erreicht. HFOV wurde angewendet, um beatmungsinduzierte Lungenschäden zu minimieren und die Oxygenierung zu optimieren. Beim schweren ARDS kann mithilfe des iLA Membranventilators[®] ein Interhospitaltransfer ermöglicht und eine rasche Verbesserung des Gasaustausches erzielt werden. Durch Verwendung des iLA Membranventilators[®] zur CO₂-Elimination können die HFOV-Einstellungen ausschließlich auf die Oxygenierung ausgerichtet werden. HFOV bewirkt eine weitere Reduktion der Beatmungsdruckamplitude und lindert potenzielle beatmungsinduzierte Lungenschäden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17429327>

BMC Anesthesiology, 2008, 14, 8: 7

Arteriovenous extracorporeal lung assist allows for maximization of oscillatory frequencies: a large-animal model of respiratory distress

(Maximale Oszillationsfrequenzen dank arteriovenöser extrakorporaler Lungenunterstützung: ein Großtiermodell des Lungenversagens)

Muellenbach, R. M.; Küstermann, J.; Kredel, M.; Johannes, A.; Wolfsteiner, U.; Schuster, F.; Wunder, C.; Kranke, P.; Roewer, N.; Brederlau, J.
Universität Würzburg, Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Würzburg, Oberdürrbacherstr. 6; 97080 Würzburg, Deutschland

HINTERGRUND: Durch Minimierung des applizierten Tidalvolumens (V_t) während der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) wird zwar das Risiko alveolärer Scherkräfte reduziert, dies kann jedoch ebenfalls zu einer unzureichenden CO_2 -Elimination mit schwerer respiratorischer Azidose führen. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass zur Anwendung hoher Oszillationsfrequenzen in einem Modell des akuten progressiven Lungenversagens (ARDS) eine Kombination von HFOV und arteriovenöser extrakorporaler Lungenunterstützung [iLA Membranventilator®] erforderlich ist, um einen normokapnischen Zustand aufrechtzuerhalten oder wiederherzustellen.

METHODEN: Nach Induktion des ARDS bei acht weiblichen Schweinen (56,5 +/- 4,4 kg) wurde ein Rekrutierungsmanöver durchgeführt und der intratracheale mittlere Atemwegsdruck (mPaw) wurde auf 3 cm H_2O über dem unteren Umschlagspunkt (P_{low}) der Druck-Volumen-Kurve eingestellt. Alle Tiere wurden mit Oszillationsfrequenzen zwischen 3 und 15 Hz beatmet. Die Druckamplitude war fest auf 60 cm H_2O eingestellt. Auf jeder Frequenzstufe wurden Gasaustausch und hämodynamische Werte gemessen. Zu diesem Zweck wurde der iLA Membranventilator® jeweils abgeklemmt und anschließend wurden die Klemmen wieder gelöst. Wenn der iLA Membranventilator® nicht abgeklemmt war, wurde der Fluss des Spülgases (Sauerstoffs) durch die Membranlunge angepasst, um eine Normokapnie zu erreichen.

ERGEBNISSE: Die Lungenrekrutierung und Einstellung des mPaw über den P_{low} bewirkten eine signifikante Verbesserung der Oxygenierung ($p < 0,05$). Im Vergleich zum Lungenversagen blieb die signifikante Verbesserung der Oxygenierung bei steigenden Frequenzen bestehen ($p < 0,05$). Eine Normokapnie während der HFOV wurde nur durch zusätzliche Anwendung des iLA Membranventilators® mit Frequenzen von 9 Hz und höher erreicht.

FAZIT: In diesem Tiermodell des ARDS führt die Maximierung der Oszillationsfrequenzen mit anschließender Minimierung des V_t zu einer Hyperkapnie, die nur durch zusätzliche Anwendung des iLA Membranventilators® rückgängig gemacht werden kann. Bei Kombination mit einer Rekrutierungsstrategie haben diese hohen Frequenzen keine nachteilige Wirkung auf die Oxygenierung.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19014575>

Acta Anaesthesiologica Scandinavica, 2007, 51: 766–769

Early treatment with arteriovenous extracorporeal lung assist and high-frequency oscillatory ventilation in a case of severe acute respiratory distress syndrome

(Frühzeitige Behandlung mit arteriovenöser extrakorporaler Lungenunterstützung und Hochfrequenzbeatmung bei einem Fall von schwerem akutem progressivem Lungenversagen)

Muellenbach, R. M.; Wunder, C.; Nüchter, D. C.; Smul, T.; Trautner, H.; Kredel, M.; Roewer, N.; Brederlau, J.

Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie, Universitätsklinikum Würzburg, Würzburg, Deutschland

HINTERGRUND: Eine lungenprotektive Beatmung kann die Mortalität beim akuten progressiven Lungenversagen (ARDS) reduzieren. Viele Patienten mit schwerem ARDS bleiben jedoch hypoxämisch und es ist eine aggressivere Form der Beatmung notwendig, um einen ausreichenden Gasaustausch aufrechtzuerhalten. Die pumpenlose, arteriovenöse, extrakorporale Lungenunterstützung [iLA Membranventilator®] entfernt erwiesenermaßen bis zu 95 % des produzierten systemischen CO₂, wodurch die Ventilatoreinstellungen und -modi auf die reine Oxygenierung und Lungenprotektion ausgerichtet werden können. Die Hochfrequenzbeatmung (HFOV) ist eine alternative Beatmungsform, die die Oxygenierung verbessern und gleichzeitig das Risiko einer weiteren Lungenschädigung durch Applikation extrem niedriger Tidalvolumen (V_t) reduzieren kann.

METHODEN: Es wird das Management eines Patienten mit schwerem ARDS infolge einer beidseitigen Lungenkontusion und Lungenaspiration erörtert.

ERGEBNISSE: Innerhalb von vier Stunden nach Aufnahme auf die Intensivstation entwickelte sich ein schweres ARDS. Eine konventionelle mechanische Beatmung (CV) mit hohem Atemwegsdruck und niedrigem V_t war nicht in der Lage, den Gasaustausch zu verbessern. Daraufhin wurde die Behandlung mit dem iLA Membranventilator® initiiert, um eine weniger aggressive Behandlungsstrategie umzusetzen. Das V_t wurde auf 2 bis 3 ml/kg verringert, die Oxygenierung verbesserte sich jedoch nicht und der Atemwegsdruck blieb hoch. Es wurde mit der HFOV (8 bis 10 Hz) unter Anwendung einer Rekrutierungsstrategie begonnen, woraufhin es zu einer Verbesserung der Oxygenierung innerhalb von zwei Stunden kam. Nach fünf Tagen wurde der Patienten ohne Auftreten von Ereignissen wieder auf eine konventionelle Beatmung umgestellt und der iLA Membranventilator® wurde nach acht Tagen entfernt.

FAZIT: Die Kombination dieser beiden innovativen Behandlungsmodalitäten führte zu einer raschen Stabilisierung und Verbesserung des Gasaustausches beim schweren ARDS, das refraktär gegenüber einer konventionellen lungenprotektiven Beatmung war. Während der Behandlung mit dem iLA Membranventilator® wurden extrem hohe Oszillationsfrequenzen angewendet, um das Risiko eines Baro- oder Volutraumas zu minimieren.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17425618>

The British Journal of Anaesthesia., 2004, 93: 582–6

High-frequency oscillatory ventilation and an interventional lung assist device to treat hypoxaemia and hypercapnia

(Hochfrequenzbeatmung und ein interventionelles Lungenunterstützungsgerät zur Behandlung von Hypoxämie und Hyperkapnie)

David, M.; Heinrichs, W.

Klinik für Anästhesiologie, Klinikum der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

Ein männlicher Patient aspirierte während eines Auftritts als Feuerschlucker versehentlich flüssiges Paraffin. Innerhalb von 24 Stunden entwickelte sich ein schweres akutes progressives Lungenversagen ($\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotient: 10,7 kPa). Eine konventionelle druckkontrollierte Beatmung (PCV) mit hohem Atemwegsdruck und niedrigem Tidalvolumen war nicht in der Lage, die Oxygenierung zu verbessern. In der Folge kam es zu einer Hyperkapnie (paCO_2 : 12 kPa) mit schwerer Azidose ($\text{pH} < 7,20$). Unter Hochfrequenzbeatmung (HFOV) mit einem höher eingestellten Atemwegsdruck (35 cm H_2O) verbesserte sich der $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotient innerhalb von einer Stunde von 10,7 auf 22,9 kPa, die Hyperkapnie und Azidose blieben jedoch bestehen. Eine schrittweise Reduzierung des mittleren Atemwegsdrucks (26 cm H_2O) und der Oszillationsfrequenz (3,5 Hz) sowie eine Erhöhung der Oszillationsamplitude (95 cm H_2O) hatten keine Auswirkung auf den paCO_2 , jedoch verschlechterte sich die Oxygenierung. Daher wurde das neue pumpenlose, extrakorporale, interventionelle Lungenunterstützungsgerät iLA Membranventilator[®] zur Kohlendioxidelimination eingesetzt, um eine weniger aggressive Beatmungsstrategie zu ermöglichen. Der paCO_2 normalisierte sich nach Initiierung der Behandlung mit dem iLA Membranventilator[®]. Die HFOV wurde mit einem mittleren Atemwegsdruck von 32 cm H_2O , jedoch höheren Oszillationsfrequenz (9 Hz) und wesentlich geringerer Oszillationsamplitude (25 cm H_2O) weitergeführt. Nach sechs Tagen wurde der Patient auf ein konventionelles Beatmungsgerät umgestellt und der iLA Membranventilator[®] wurde nach 13 Tagen ohne Komplikationen entfernt.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15277297>

4. VISION α [®] HFOV

4.1. Allgemein

Respiratory, 2003, 22: 1062–1066

A New Development of High-Frequency Oscillation (HFO) in Children and Adults

(Eine neue Entwicklung auf dem Gebiet der Hochfrequenzbeatmung [HFOV] bei Kindern und Erwachsenen)

Nakagawa, S.; Miyasaka K.

Bei der Hochfrequenzbeatmung [Vision $\alpha^{\text{®}}$ HFOV] wird mit einem Schlagvolumen beatmet, das geringer ist als der anatomische Totraum, während das Lungenvolumen mit einem mittleren Atemwegsdruck aufrechterhalten wird. Vision $\alpha^{\text{®}}$ HFOV könnte sogar die ultimative Form für ein Beatmungskonzept mit niedrigem Tidalvolumen darstellen und gilt derzeit als viel versprechende Strategie zum Management des akuten progressiven Lungenversagens (ARDS). Vision $\alpha^{\text{®}}$ HFOV wurde bereits früh in der medizinischen Versorgung Neugeborener eingesetzt und sein Nutzen wird sowohl hier in Japan als auch international allgemein anerkannt. Die Anwendung bei Erwachsenen und Kindern jenseits des Neugeborenenalters war jedoch eingeschränkt, da entsprechende Geräte in Japan nicht zur Verfügung standen. Es wurde daher ein eigenes Vision $\alpha^{\text{®}}$ HFOV-Gerät im Land entwickelt, das seit kurzem bei Kindern und Erwachsenen angewendet wird. Es wird erwartet, dass Vision $\alpha^{\text{®}}$ HFOV in der klinischen Praxis breite Anwendung finden und sich als eine wichtige Managementoption für ARDS etablieren wird.

Hinweis:

Das HFOV-Gerät wird in dem Artikel als „**R-100**“ bezeichnet. Dies ist der japanische Markenname für **Vision $\alpha^{\text{®}}$** .

4. VISION α [®] HFOV

4.2. ARDS

Critical Care Medicine, 2008, 36: 1043–8

Feasibility of very high-frequency ventilation in adults with acute respiratory distress syndrome

(Praktische Anwendbarkeit der Beatmung mit sehr hohen Frequenzen bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen)

Fessler, H. E.; Hager, D. N.; Brower, R. G.

Abteilung für Pneumologie und Intensivmedizin, Medizinische Fakultät der Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, USA

ZIEL: Beurteilung der praktischen Anwendbarkeit von Atemfrequenzen bis zu 15 Hz während der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) von Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen (ARDS)

DESIGN: Beobachtungsstudie

UMGEBUNG: Medizinische Intensivstation in einer tertiären Universitätsklinik

PATIENTEN: 30 erwachsene Patienten, die nach Ermessen ihres Arztes mit HFOV zum Management eines schweren ARDS behandelt wurden

INTERVENTIONEN: Es wurde ein klinischer Managementalgorithmus für HFOV angewendet, der das applizierte Tidalvolumen minimierte, indem er die Anwendung der höchsten Frequenz, bei der noch eine akzeptable Kohlendioxidelimination möglich war, förderte. Dies steht im Gegensatz zur typischen Anwendung der HFOV bei Erwachsenen, in der normalerweise keine höheren Frequenzen als 6 Hz verwendet werden.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Das Alter der Patienten lag bei 42 +/- 15 Jahre und ihr Gewicht bei 83 +/- 25 kg. Die Patienten hatten aufgrund einer refraktären Hypoxie oder respiratorischen Azidose sowie hohen Atemwegsplateaudrücken auf eine konventionelle lungenprotektive Beatmung nicht angesprochen. Während der HFOV blieb der Gasaustausch bei 25 der 30 Patienten bei Frequenzen > 6 Hz auf akzeptablem Niveau. Zwölf erreichten eine Höchsthäufigkeit von ≤ 10 Hz. Bei den Patienten, deren Höchsthäufigkeit über 6 Hz lag, betrug die mittlere Höchsthäufigkeit 9,9 +/- 2,1 Hz bei einer mittleren Oszillationsdruckamplitude von 81 +/- 11 cm H₂O. Unter diesen Einstellungen lagen die Blutgaswerte bei pH = 7,31 +/- 0,06, paCO₂ = 58 +/- 21 mm Hg und paO₂ = 82 +/- 33 mm Hg. Das Überleben bis zur Entlassung aus dem Krankenhaus in dieser Kohorte schwer kranker Patienten betrug 37 %.

FAZIT: Die meisten Erwachsenen können bei Anwendung von HFOV-Frequenzen weit über 5 bis 6 Hz einen adäquaten Gasaustausch aufrechterhalten. Durch die Anwendung höherer Frequenzen sollte das Tidalvolumen minimiert werden, wodurch unter Umständen beatmungsassoziierte Lungenschäden reduziert werden könnten.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18379227>

The Journal of Trauma, 2006, 61: 837–43

High frequency oscillatory ventilation for surgical patients with acute respiratory distress syndrome

(Hochfrequenzbeatmung bei chirurgischen Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen)

Kao, K. C.; Tsai, Y. H.; Wu, Y. K.; Huang, C. T.; Shih, M. J.; Huang, C. C.

Abteilung für Pneumologie und Intensivmedizin, Chang Gung Memorial Hospital, Medizinische Fakultät der Chang-Gung-Universität, Taoyuan, Taiwan

HINTERGRUND: Die Ergebnisse zahlreicher Studien deuten darauf hin, dass sich durch die Hochfrequenzbeatmung (HFOV) als Rescue-Therapie die Oxygenierung bei Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen (ARDS) verbessern lässt. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Wirksamkeit und Sicherheit der HFOV bei chirurgischen Patienten mit ARDS zu analysieren.

METHODEN: Insgesamt wurden 16 chirurgische ARDS-Patienten mit schwerem Oxygenierungsversagen trotz aggressiver, konventioneller, mechanischer Ventilationsunterstützung mit HFOV behandelt. Der mittlere Atemwegsdruck wurde anfangs auf 3 bis 5 cm H₂O über dem für die konventionelle Beatmung eingestellt und anschließend titriert, um eine Sauerstoffsättigung $\leq 90\%$ und eine $FiO_2 \leq 0,6$ aufrechtzuerhalten. Oxygenierung, Belüftung und hämodynamische Parameter wurden während der konventionellen Beatmung vor Initiierung der HFOV und während der HFOV-Unterstützung über insgesamt 40 Stunden hinweg gemessen. Weitere Zielkriterien waren die Dauer der HFOV, die erfolgreiche Weaning-Rate, Ursache von Nichtansprechen, Komplikationen, Überlebensrate und Todesursache.

ERGEBNISSE: Es kam innerhalb von 30 Minuten zu einer signifikanten Erhöhung des paO_2/FiO_2 -Quotienten und diese Erhöhung blieb während der gesamten Studie auch nach 12 Stunden unter HFOV bestehen. Der Oxygenierungsindex hatte sich nach 24 Stunden der HFOV-Unterstützung signifikant verringert. Es gab keine signifikante Veränderung des Blutdrucks im Zusammenhang mit der Initiierung und Anwendung der HFOV. Die Rate für das erfolgreiche Weaning von der HFOV und Umstellung auf konventionelle Beatmung betrug 75 %. Die Überlebensrate auf der Intensivstation lag bei 43,8 % und die Krankenhaus-Überlebensrate bei 37,5%.

FAZIT: Die Hochfrequenzbeatmung erwies sich zur Behandlung eines Oxygenierungsversagens im Zusammenhang mit einem ARDS bei chirurgischen Patienten als effektiv und sicher. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um die geeigneten Patienten, Timing und optimale Strategie für die Anwendung der HFOV zu bestimmen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17033549>

Physiological Research, 2006, 55: 15–24

Normocapnic high-frequency oscillatory ventilation affects differently extrapulmonary and pulmonary forms of acute respiratory distress syndrome in adults

(Die normokapnische Hochfrequenzbeatmung hat eine unterschiedliche Wirkung auf das akute progressive Lungenversagen extrapulmonaler und pulmonaler Genese bei Erwachsenen)

Pachl, J.; Roubík, K.; Waldauf, P.; Fric, M.; Zábrodský, V.

Fachbereich Anästhesiologie und Intensivmedizin, 3. Medizinische Fakultät, Karls-Universität, Prag, Tschechische Republik

Die Unterschiede zwischen dem akuten progressiven Lungenversagen pulmonaler und extrapulmonaler Genese (ARDS(p), ARDS(exp)), über die kürzlich berichtet wurde, haben eine wissenschaftliche Diskussion über die potenziellen unterschiedlichen Wirkungen aktueller Beatmungsstrategien entfacht. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, zu beurteilen, ob sich das Vorliegen eines ARDS(p) bzw. ARDS(exp) unterschiedlich auf die positiven Effekte der Hochfrequenzbeatmung (HFOV), die diese auf physiologische und klinische Parameter hat, auswirkt. Bei 30 Erwachsenen, die die ARDS-Kriterien erfüllten, wurde die Indikation zur HFOV im Fall eines Versagens der konventionellen Beatmungsstrategie gestellt. Je nach ARDS-Form wurde jeder Patient entweder der Gruppe mit ARDS(p) oder der Gruppe mit ARDS(exp) zugeteilt. Sechs Stunden nach Initiierung der normokapnischen HFOV war in der ARDS(p)-Gruppe keine signifikante Erhöhung des paO_2/FiO_2 -Quotienten festzustellen (von 129 +/-47 auf 133 +/-50 mm Hg), in der ARDS(exp)-Gruppe kam es jedoch zu einer signifikanten Verbesserung (von 114 +/-54 auf 200 +/-65 mm Hg, $p < 0,01$). Trotz des nur geringfügigen Unterschieds hinsichtlich des zuletzt gemessenen mittleren Atemwegsdrucks (MAP) unter konventioneller mechanischer Beatmung (CMV) zwischen den beiden Gruppen lag der anfängliche, optimale, kontinuierliche Distensionsdruck (CDP) für den besten paO_2/FiO_2 -Quotienten unter HFOV bei 2,0 +/-0,6 kPa in der ARDS(p)-Gruppe bzw. 2,8 +/-0,6 kPa in der ARDS(exp)-Gruppe ($p < 0,01$). HFOV bewirkt in der ARDS(exp)-Gruppe eine Rekrutierung und ist somit in dieser Gruppe effektiver. ARDS(exp)-Patienten benötigen höhere CDP-Niveaus als ARDS(p)-Patienten. Es wird nicht empfohlen, den Zeitraum für die Prüfung auf eine positive Wirkung der HFOV auf mehr als 24 Stunden auszudehnen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15857169>

Critical Care, 2005, 9: R430–9

High frequency oscillatory ventilation compared with conventional mechanical ventilation in adult respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial [ISRCTN24242669]

(Vergleich von Hochfrequenzbeatmung und konventioneller mechanischer Beatmung beim akuten progressiven Lungenversagen: eine randomisierte, kontrollierte Studie [ISRCTN24242669])

Bollen, C. W.; van Well, G. T.; Sherry, T.; Beale, R. J.; Shah, S.; Findlay, G.; Monchi, M.; Chiche, J. D.; Weiler, N.; Uiterwaal, C. S.; van Vught, A. J.
Intensivmedizin, Universitätsklinikum Utrecht, Niederlande

EINLEITUNG: Es wurde eine multizentrische randomisierte Studie auf vier Intensivstationen durchgeführt, um die Sicherheit und Wirksamkeit der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) mit der konventionellen mechanischen Beatmung (CV) zur frühen Intervention beim akuten progressiven Lungenversagen (ARDS) zu vergleichen.

METHODEN: Patienten mit ARDS wurden randomisiert entweder der HFOV oder CV zugeteilt. In beiden Behandlungsarmen lag die Priorität auf dem Erhalt des Lungenvolumens bei gleichzeitiger Minimierung der Spitzendrücke. Die CV-Strategie zielte auf eine Reduzierung des Tidalvolumens ab. In der HFOV-Gruppe wurde eine Strategie nach dem Konzept der „offenen Lunge“ angewendet. Atem- und Kreislaufparameter wurden gemessen und das klinische Outcome wurde an Tag 30 der Follow-up-Phase bestimmt.

ERGEBNISSE: Die Studie wurde frühzeitig abgebrochen. 37 Patienten wurden mit HFOV und 24 Patienten mit CV behandelt (durchschnittlicher APACHE II Score: 21 bzw. 20, Oxygenierungsindex: 25 bzw. 18 und Dauer der mechanischen Beatmung vor der Randomisierung: 2,1 bzw. 1,5 Tage). Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede bezüglich des Überlebens ohne Gabe von Sauerstoff oder unter Beatmung, der Mortalität, des Therapieversagens oder des Cross-over. Die Adjustierung durch a priori definierte Baseline-Merkmale ergab ein Odds Ratio von 0,80 (95 % KI 0,22–2,97) für das Überleben ohne Gabe von Sauerstoff oder unter Beatmung und ein Odds Ratio für die Mortalität von 1,15 (95 % KI 0,43–3,10) unter HFOV verglichen mit CV. Das Ansprechen des Oxygenierungsindex (OI) auf die Behandlung unterschied sich zwischen Überleben und Tod nicht. In der HFOV-Gruppe war das OI-Ansprechen zwischen dem ersten und zweiten Tag signifikant größer als in der CV-Gruppe. Eine Post-hoc-Analyse deutete darauf hin, dass HFOV bei Patienten mit einem höheren Baseline-OI einen vergleichsweise besseren Behandlungseffekt aufwies als CV.

FAZIT: Es wurden keine signifikanten Unterschiede beobachtet, diese Studie war jedoch nur dafür ausgelegt, größere Unterschiede hinsichtlich des Überlebens ohne Gabe von Sauerstoff und unter Beatmung zu erkennen. Bei Patienten mit ARDS und einem höheren Baseline-OI könnte die HFOV jedoch einen Behandlungsvorteil gegenüber der CV zeigen. Es muss noch mehr Forschung betrieben werden, um die Wirksamkeit der HFOV bei der Behandlung des ARDS zu bestimmen. Es wird empfohlen, zukünftige Studien so zu konzipieren, dass eine aussagekräftige Analyse bei Patienten mit höherem OI möglich ist.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16137357>

Critical Care Medicine, 2005, 33: S129–34

High-frequency oscillatory ventilation and ventilator-induced lung injury

(Hochfrequenzbeatmung und beatmungsinduzierte Lungenschäden)

Imai, Y.; Slutsky, A. S.

Institut für Molekulare Biotechnologie, Österreichische Akademie der Wissenschaften, Wien, Österreich

EINLEITUNG: Die mechanische Beatmung ist für Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen lebensrettend, sie kann jedoch beatmungsinduzierte Lungenschäden verursachen. Um diese Schäden zu minimieren, wurden verschiedene Beatmungsstrategien entwickelt. Eine dieser Strategien ist die Anwendung der Hochfrequenzbeatmung (HFOV).

THEORETISCHER HINTERGRUND ZU BEATMUNGSINDUZIERTEN LUNGENSCHÄDEN UND HFOV: Dank der neuartigen Gasaustauschmechanismen ist die HFOV in der Lage, einen adäquaten Gasaustausch unter Anwendung extrem kleiner Tidalvolumen sicherzustellen und ein hohes endexpiratorisches Lungenvolumen aufrechtzuerhalten, ohne zu einer Überdehnung zu führen. Dadurch sollten beatmungsinduzierte Lungenschäden minimiert werden.

STUDIEN ZU HFOV UND LUNGENSCHÄDEN: Es liegen überzeugende klinische und tierexperimentelle Daten vor, die darauf hindeuten, dass HFOV eine ideale lungenprotektive Beatmungsstrategie darstellt, insbesondere bei der respiratorischen Insuffizienz des Neugeborenen, wenn eine Rekrutierung von Lungenvolumen durchgeführt wird.

KLINISCHE IMPLIKATIONEN DER HFOV BEIM AKUTEN PROGRESSIVEN LUNGENVERSAGEN: In einer aktuellen klinischen Studie zeigte sich eine rasche (< 16 Stunden) Verbesserung der Oxygenierung unter HFOV. Die 30-Tages-Mortalität betrug 37 % unter HFOV gegenüber 52 % unter druckkontrollierter Beatmung ($p = 0,102$). Daraus lässt sich schließen, dass die HFOV beim akuten progressiven Lungenversagen ebenso effektiv und sicher ist wie die konventionelle Strategie. Weitere Studien sind zwingend erforderlich, um die optimalen Algorithmen der HFOV an klinisch relevanten Tiermodellen und Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen zu untersuchen sowie herauszufinden, ob eine breite Anwendung der HFOV beim akuten progressiven Lungenversagen angebracht ist.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15753718>

Anesthesia & Analgesia, 2005, 100: 1793–6

Independent high-frequency oscillatory ventilation in the management of asymmetric acute lung injury

(Unabhängige Hochfrequenzbeatmung zum Management des asymmetrischen akuten Lungenversagens)

Terragni, P.; Rosboch, G. L.; Corno, E.; Menaldo, E.; Tealdi, A.; Borasio, P.; Davini, O.; Viale, A. G.; Ranieri, V. M.

Fachbereich Medizin und Chirurgie, Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universität Turin, San Giovanni Battista-Krankenhaus, Turin, Italien

Es wird ein Fall der unabhängigen Lungenbeatmung bei einem Erwachsenen mit asymmetrischem akutem Lungenversagen beschrieben. Auf der homogener infiltrierten Lungenseite wurde eine konventionelle protektive Beatmungsstrategie und auf der beinahe vollständig kollabierten Lungenseite eine Hochfrequenzbeatmung angewendet. Durch die konventionelle protektive Strategie wurde ein Plateaudruck von über 30 cm H₂O aufgebracht, während die Hochfrequenzbeatmung für einen ausreichenden Gasaustausch bei sichereren Druckniveaus sorgte. Anhand von CT-Aufnahmen der Lunge wurde die Wirksamkeit der jeweiligen Beatmungsstrategie evaluiert.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15920215>

Intensive Care Medicine, 2005, 31: 463–70

HFOV in premature neonates: effects on pulmonary mechanics and epithelial lining fluid cytokines. A randomized controlled trial

(HFOV bei Frühgeborenen: Wirkungen auf pulmonale Mechanismen und Zytokinkonzentrationen in der Epithelflüssigkeit. Eine randomisierte kontrollierte Studie)

Vento, G.; Matassa, P. G.; Ameglio, F.; Capoluongo, E.; Zecca, E.; Tortorolo, L.; Martelli, M.; Romagnoli, C.

Fachbereich Neonatologie, Abteilung für Pädiatrie, Università Cattolica del Sacro Cuore (Katholische Universität vom Heiligen Herzen), Poliklinik Agostino Gemelli, Rom, Italien

ZIEL: Beatmungsstrategien für Frühgeborene können die Schwere der Lungenfunktionsstörung und die spätere Entwicklung einer chronischen Lungenkrankheit beeinflussen. Ziel dieses Berichts ist es, die Wirkungen der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) mit denen der synchronisierten intermittierenden maschinellen Beatmung (SIMV) in Bezug auf biochemische und funktionelle Variablen zu vergleichen.

DESIGN: Randomisierte kontrollierte Studie

UMGEBUNG: Level-III-Neugeborenen-Intensivstation

PATIENTEN UND PROBANDEN: 40 Frühgeborene mit einem Gestationsalter von 24 bis 29 Wochen wurden innerhalb von 30 Minuten nach der Geburt randomisiert einer der beiden oben genannten Beatmungsstrategien zugeteilt.

MESSUNGEN UND ERGEBNISSE: An Tag 1, 3, 5 und 7 wurden die Babys durch Messung der Ventilator Kennwerte, Lungenfunktion und acht entzündungsfördernder bzw. entzündungshemmender Zytokinen, die in der bronchoalveolären Lavageflüssigkeit bestimmt wurden, überwacht. Die Neugeborenen, die der HFOV-Gruppe zugeteilt waren, zeigten eine rasche und nachhaltige Verbesserung der pulmonalen Mechanismen und des Gasaustausches (signifikant höhere dynamische Lungen-Compliance-Werte, signifikant geringerer expiratorischer Atemwegsdruck und Oxygenierungsindex), sodass eine frühere Extubation möglich war als bei den Neugeborenen in der SIMV-Gruppe. Darüber hinaus waren in der ersten Gruppe auch die Konzentrationen an transformierendem Wachstumsfaktor $\beta 1$ in der bronchoalveolären Lavageflüssigkeit signifikant geringer.

FAZIT: Die Ergebnisse dieser randomisierten klinischen Studie stützen die Hypothese, dass die frühe und exklusive Anwendung der HFOV in Kombination mit einer Strategie mit optimierten Volumen eine positive Wirkung während der akuten Phase des Lungenversagens hat.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15717206>

Chest, 2004, 126: 518-27

High-frequency oscillatory ventilation in adults: the Toronto experience

(Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen: Erfahrungen in Toronto)

Mehta, S.; Granton, J.; MacDonald, R. J.; Bowman, D.; Matte-Martyn, A.; Bachman, T.; Smith, T.; Stewart, T. E.

Mount Sinai Hospital, 600 University Avenue, No. 1818, Toronto, Ontario, M5G 1X5, Kanada

STUDIENZIELE: Evaluierung der klinischen Erfahrungen mit der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) auf drei chirurgischen Intensivstationen in Toronto, Kanada, und Beschreibung der Patientencharakteristika, HFOV-Strategien und Outcomes.

DESIGN UND PATIENTEN: Es wurde eine retrospektive Prüfung der Krankenakten aller Patienten durchgeführt, die seit 1998 auf drei universitären Intensivstationen mit HFOV behandelt worden waren. Erhoben wurden unter anderem demografische Patientendaten, Ätiologie der respiratorischen Insuffizienz, Ventilatoreinstellungen sowie Gasaustausch- und kardiovaskuläre Werte ab der Baseline bis 72 Stunden nach Beginn der Behandlung sowie bei der Umstellung von HFOV auf konventionelle Beatmung (CV). Bei allen Patienten wurden in regelmäßigen Abständen Herzfrequenz und Blutdruck erfasst und bei 32 Patienten, bei denen ein Pulmonalkatheter gelegt wurde, wurden hämodynamische Werte gemessen. Außerdem wurden Ko-Interventionen und die Mortalität auf der Intensivstation dokumentiert.

MESSUNGEN UND ERGEBNISSE: Bei insgesamt 156 Erwachsenen (67 Frauen und 89 Männern; mittleres Alter [±SD]: 48 ±18 Jahre; mittlerer APACHE II Score: 23,8 ±7,5) mit schwerem ARDS (d. h. mittlerer Quotient aus paO_2 und inspirierter Sauerstoffkonzentration FiO_2 : 91 ±48 mm Hg; mittlerer Oxygenierungsindex [OI]: 31 ±14), die über einen Zeitraum von 5,6 ±7,6 Tagen mit CV ventiliert wurden, wurde 171 Mal eine HFOV angewendet. Die HFOV wurde bei 19 Patienten (12 %) innerhalb von vier Stunden aufgrund von Problemen mit der Oxygenierung, Belüftung oder Hämodynamik abgebrochen. Unter HFOV kam es zu einer signifikanten Verbesserung des paO_2/FiO_2 -Quotienten und des OI ($[FiO_2 \times \text{mittlerer Atemwegsdruck} \times 100]/paO_2$), die über den gesamten 72-stündigen Studienzeitraum hinweg anhielt. Nach Initiierung der HFOV kam es zu signifikanten hämodynamischen Veränderungen, unter anderem einer Erhöhung des zentralen Venendruckes und einer Verringerung des Herzzeitvolumens (über die gesamten 72 Stunden hinweg) sowie einem Anstieg des pulmonalarteriellen Verschlussdrucks (nach 3 und 6 Stunden). Die Dauer der Behandlung mit HFOV betrug 5,1 ±6,3 Tage. Die 30-Tages-Mortalität lag bei 61,7 %. Ein Pneumothorax trat bei 21,8 % der Patienten auf, 43,6 % der Patienten wurden mit inhalativem Stickstoffmonoxid und 37,2 % mit Steroiden behandelt. Unabhängige Prädiktoren der Mortalität in multivariaten Analysen waren höheres Alter, höherer APACHE II Score, geringerer pH zu Beginn der HFOV und mehr Tage unter CV vor Initiierung der HFOV.

FAZIT: Die HFOV hat positive Wirkungen auf den paO_2/FiO_2 -Quotienten und OI und könnte sich als effektive Rescue-Therapie für Erwachsene mit schwerem Oxygenierungsversagen erweisen. Die frühzeitige Anwendung der HFOV kann vorteilhaft sein.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15302739>

Critical Care Medicine, 2003, 31: 383–9

Acute oxygenation response to inhaled nitric oxide when combined with high-frequency oscillatory ventilation in adults with acute respiratory distress syndrome

(Akutes Ansprechen der Oxygenierung auf inhalatives Stickstoffmonoxid in Kombination mit Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen)

Mehta, S.; MacDonald, R.; Hallett, D. C.; Lapinsky, S. E.; Aubin, M.; Stewart, T. E.
Abteilung für Medizin, Mount Sinai Hospital, Universität Toronto, Kanada

ZIEL: Prospektive Evaluierung des Effekts von während der Hochfrequenzbeatmung verabreichtem, inhalativem Stickstoffmonoxid (iNO) auf die Oxygenierung bei erwachsenen Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen und Oxygenierungsversagen.

DESIGN: Prospektive klinische Studie.

UMGEBUNG: Intensivstation eines akademischen Lehrkrankenhauses.

PATIENTEN: Insgesamt 23 Erwachsene (14 Frauen, 9 Männer; 44,9 +/-17,5 Jahre, APACHE II Score: 28,6 +/-7,1) mit akutem progressivem Lungenversagen (Murray-Score: 3,5 +/-0,4) mit einer $FiO_2 \geq 0,6$ und einem mittleren Atemwegsdruck ≥ 28 cm H_2O .

INTERVENTIONEN: Die Anfangsdosis des iNO betrug 5 ppm. Diese wurde anschließend einem Protokoll folgend titriert, um die Dosis (5, 10 oder 20 ppm), die zu einem höchsten Anstieg des paO_2/FiO_2 -Quotienten führte, zu ermitteln. Zehn bis 15 Minuten nach Behandlungsbeginn und nach jeder Erhöhung der iNO-Dosis wurden die Blutgase gemessen, um die Wirkung auf den paO_2/FiO_2 -Quotienten zu bestimmen.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Die arteriellen Blutgase und Ventilatoreinstellungen wurden an vier Zeitpunkten erfasst: während der konventionellen Beatmung direkt vor Initiierung der Hochfrequenzbeatmung, während der Hochfrequenzbeatmung direkt vor Initiierung der iNO-Gabe, nach 30 Minuten unter Behandlung mit der optimalen iNO-Dosis und 8 bis 12 Stunden nach Beginn der iNO-Behandlung. Der Oxygenierungsindex ($[FiO_2 \times \text{mittlerer Atemwegsdruck} \times 100]/paO_2$) und der paO_2/FiO_2 -Quotient wurden in denselben Zeitintervallen berechnet. 30 Minuten nach Initiierung der iNO-Behandlung kam es bei 83 % der Patienten zu einer signifikanten Erhöhung der Sauerstoffspannung im Blut, definiert als eine Erhöhung des paO_2/FiO_2 -Quotienten um ≥ 20 %. Die mittlere Veränderung des paO_2/FiO_2 -Quotienten nach 30 Minuten betrug 38 %. Unter diesen 19 Patienten war der paO_2/FiO_2 -Quotient bei vier Patienten bei 20 ppm am höchsten, bei acht Patienten bei 10 ppm und bei sieben Patienten bei 5 ppm. Gegenüber den Baseline-Werten verbesserte sich der paO_2/FiO_2 -Quotient signifikant, sowohl 30 Minuten (112 +/-59 vs. 75 +/-32, $p = 0,01$) als auch 8 bis 12 Stunden nach Beginn der iNO-Behandlung (146 +/-52 vs. 75 +/-32, $p < 0,0001$). Darüber hinaus war der Oxygenierungsindex nach 8 bis 12 Stunden gegenüber den Baseline-Werten verringert (26 +/-13 vs. 40 +/-17, $p = 0,08$).

FAZIT: Die Gabe von iNO mit einer Dosis von 5 bis 20 ppm während der Hochfrequenzbeatmung führt zu einer Erhöhung des paO_2/FiO_2 -Quotienten und kann eine sichere und effektive Rescue-Therapie für Patienten mit schwerem Oxygenierungsversagen darstellen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12576940>



American Journal of Respiratory Critical Care Medicine, 2002, 166: 801–8

High-frequency oscillatory ventilation for acute respiratory distress syndrome in adults: a randomized, controlled trial

(Hochfrequenzbeatmung beim akuten progressiven Lungenversagen bei Erwachsenen: eine randomisierte, kontrollierte Studie)

Derdak, S.; Mehta, S.; Stewart, T. E.; Smith, T.; Rogers, M.; Buchman, T. G.; Carlin, B.; Lowson, S.; Granton, J.

Prüfer bei der Multicenter Oscillatory Ventilation For Acute Respiratory Distress Syndrome Trial (MOAT)-Studie, Abteilung für Pneumologie/Intensivmedizin, Wilford Hall Medical Center, San Antonio, Texas, USA

Beobachtungsstudien der Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen zeigten eine Verbesserung der Oxygenierung. Es wurde eine multizentrische, randomisierte, kontrollierte Studie konzipiert, in der die Sicherheit und Wirksamkeit der Hochfrequenzbeatmung mit der konventionellen Beatmung bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen verglichen werden sollte. Dabei wurden 148 erwachsene Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen ($\text{paO}_2/\text{inspirierte Sauerstoffkonzentration} \leq 200 \text{ mm Hg}$ bei einem positiven endexpiratorischen Druck von $10 \text{ cm H}_2\text{O}$ oder höher) randomisiert entweder der Hochfrequenzbeatmung ($n = 75$) oder der konventionellen Beatmung ($n = 73$) zugewiesen. Der applizierte mittlere Atemwegsdruck war in der Gruppe unter Hochfrequenzbeatmung über die ersten 72 Stunden hinweg signifikant höher als in der Gruppe unter konventioneller Beatmung ($p = 0,0001$). Die Gruppe unter Hochfrequenzbeatmung zeigte eine frühe (nach weniger als 16 Stunden) Verbesserung des Quotienten aus paO_2 und inspirierter Sauerstoffkonzentration im Vergleich zu der Gruppe unter konventioneller Beatmung ($p = 0,008$), dieser Unterschied hielt jedoch nicht länger als 24 Stunden an. Der Oxygenierungsindex verringerte sich innerhalb der ersten 72 Stunden in beiden Gruppen gleichermaßen. Die 30-Tages-Mortalität betrug 37 % in der Gruppe unter Hochfrequenzbeatmung und 52 % in der Gruppe unter konventioneller Beatmung ($p = 0,102$). Der prozentuale Anteil an Patienten, die ohne mechanische Beatmung an Tag 30 noch am Leben waren, betrug 36 % in der Gruppe unter Hochfrequenzbeatmung bzw. 31 % in der Gruppe unter konventioneller Beatmung ($p = 0,686$). Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Behandlungsgruppen in Bezug auf hämodynamische Variablen, Oxygenierungsversagen, Ventilationsversagen, Barotrauma oder Bildung von Schleimpfropfen. Es wird gefolgert, dass die Hochfrequenzbeatmung eine sichere und effektive Beatmungsmodalität zur Behandlung des akuten progressiven Lungenversagens bei Erwachsenen darstellt.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12231488>

Journal of Applied Physiology, 2001, 91: 1836–44

Comparison of lung protection strategies using conventional and high-frequency oscillatory ventilation

(Vergleich von lungenprotektiven Strategien unter Anwendung konventioneller und Hochfrequenzbeatmung)

Imai, Y.; Nakagawa, S.; Ito, Y.; Kawano, T.; Slutsky, A. S.; Miyasaka, K.

Pathophysiologisches Forschungslabor, Nationales pädiatrisches Forschungszentrum, Setagaya-ku, Tokio, Japan

In dieser Studie wurden pathophysiologische und biochemische Kennwerte des akuten Lungenversagens in einem einer Lavage (Kochsalzlösung) unterzogenen Kaninchenmodell zwischen verschiedenen Beatmungsstrategien verglichen: eine Kontrollgruppe mit moderatem Tidalvolumen (V_t) (10 bis 12 ml/kg) und geringem positivem endexpiratorischem Druck (PEEP) (4 bis 5 cm H₂O) und drei protektive Gruppen – 1. niedriges V_t (5 bis 6 ml/kg), hoher PEEP (2 bis 3 cm H₂O über dem unteren Umschlagspunkt); 2. niedriges V_t (5 bis 6 ml/kg), hoher PEEP (8 bis 10 cm H₂O; und 3. Hochfrequenzbeatmung (HFOV). Die Strategie mit einem PEEP > Umschlagspunkt führte zu Hypotonie und Barotrauma. Die HFOV verminderte die Verschlechterung der Lungen-Compliance, die Lungenentzündung (gemessen anhand der Granulozyteninfiltration und Tumornekrosefaktor- α -Konzentration im Alveolarraum) und die pathologischen Veränderungen der kleinen Atemwege und Alveolen. Die konventionelle mechanische Beatmung unter Anwendung lungenprotektiver Strategien (niedriges V_t , hoher PEEP) verminderte nur die Verschlechterung der Oxygenierung und der Lungen-Compliance. Daher kann HFOV die zu bevorzugende Option für eine lungenprotektive Strategie darstellen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11568170>

Critical Care Medicine, 2001, 29: 1360–9

Prospective trial of high-frequency oscillation in adults with acute respiratory distress syndrome

(Prospektive Studie der Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen)

Mehta, S.; Lapinsky, S. E.; Hallett, D. C.; Merker, D.; Groll, R. J.; Cooper, A. B.; MacDonald, R. J.; Stewart, T. E.

Abteilung für Medizin und Abteilung für Anästhesie, Mount Sinai Hospital, Toronto, Ontario, Kanada

ZIEL: Evaluierung der Sicherheit und Wirksamkeit der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) bei erwachsenen Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen (ARDS) und Oxygenierungsversagen. **DESIGN:** Prospektive klinische Studie. **UMGEBUNG:** Intensiv- und Verbrennungsintensivstationen an zwei akademischen Lehrkrankenhäusern. **PATIENTEN:** 24 Erwachsene (10 Frauen, 14 Männer; 48,5 +/- 15,2 Jahre alt, APACHE II Score: 21,5 +/- 6,9) mit ARDS (Murray-Score: 3,4 +/- 0,6; paO_2/FiO_2 : 98,8 +/- 39,0 mm Hg und Oxygenierungsindex: 32,5 +/- 19,6), die folgende Kriterien erfüllten: $paO_2 \leq 65$ mm Hg mit $FiO_2 \geq 0,6$ oder Plateaudruck ≥ 35 cm H₂O.

INTERVENTIONEN: Bei Patienten mit ARDS wurde nach unterschiedlich langen Perioden unter konventioneller Beatmung (CV) eine HFOV initiiert. Der mittlere Atemwegsdruck (Paw) wurde anfangs auf 5 cm H₂O über dem Paw während der CV eingestellt und anschließend titriert, um eine Sauerstoffsättigung zwischen 88 % und 93 % und eine $FiO_2 \leq 0,60$ aufrechtzuerhalten.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Während der Umstellung der Beatmung von CV auf HFOV und anschließend alle 8 Stunden über 72 Stunden hinweg wurden FiO_2 , Paw, Druckamplitude der Oszillation, Frequenz, Blutdruck, Herzfrequenz und arterielle Blutgase überwacht. Bei 16 Patienten, bei denen ein Pulmonalkatheter gelegt wurde, wurden in denselben Zeitintervallen kardiale hämodynamische Werte gemessen. Während der gesamten HFOV-Phase war der Paw signifikant höher als der während der CV applizierte. Innerhalb von 8 Stunden der HFOV-Behandlung und über die Dauer der Studie hinweg waren FiO_2 und $paCO_2$ geringer und paO_2/FiO_2 war höher verglichen mit den Baseline-Werten während der CV. Nach Initiierung der HFOV kam es zu signifikanten Veränderungen der hämodynamischen Variablen, unter anderem einem Anstieg des pulmonalarteriellen Verschlussdrucks (nach 8 und 40 Stunden) und des zentralen Venendrucks (nach 16 und 40 Stunden) sowie einer Verringerung des Herzzeitvolumens über die gesamte Studiendauer hinweg. Es gab keine signifikante Änderung des systemischen oder Pulmonalendrucks im Zusammenhang mit der Initiierung und Fortführung der HFOV. Zu den Komplikationen, die unter HFOV auftraten, zählten Pneumothorax bei zwei Patienten und Austrocknung der Sekrete bei einem Patienten. Das Überleben nach 30 Tagen betrug 33 %, wobei die überlebenden Patienten vor Initiierung der HFOV weniger Tage mechanisch beatmet worden waren als die nicht überlebenden Patienten (1,6 +/- 1,2 vs. 7,8 +/- 5,8 Tage; $p = 0,001$).

FAZIT: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die HFOV eine positive Wirkung auf Oxygenierung und Belüftung hat und eine sichere und effektive Rescue-Therapie für Patienten mit schwerem Oxygenierungsversagen darstellen kann. Eine frühzeitige Anwendung der HFOV kann vorteilhaft sein.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11445688>



Intensive Care Medicine, 1999, 25: 1173–6

Successful treatment of a patient with ARDS after pneumonectomy using high-frequency oscillatory ventilation

(Erfolgreiche Behandlung eines Patienten mit ARDS nach einer Pneumonektomie mittels Hochfrequenzbeatmung)

Brambrink, A. M.; Brachlow, J.; Weiler, N.; Eberle, B.; Elich, D.; Joost, T.; Koller, M.; Huth, R.; Heinrichs, W.

Klinik für Anästhesiologie, Klinikum der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

Ein Patient, der fünf Tage nach einer rechten Pneumonektomie aufgrund eines Bronchialkarzinoms akutes progressives Lungenversagen entwickelte, wurde mit Hochfrequenzbeatmung (HFOV) behandelt. Während die konventionelle druckkontrollierte Beatmung nicht in der Lage war, eine adäquate Oxygenierung aufrechtzuerhalten, verbesserte sich die Oxygenierung unter HFVO innerhalb weniger Stunden der Behandlung drastisch. Lungenfunktion und Gasaustausch normalisierten sich während der 10-tägigen Behandlungsdauer mit HFOV. Es wurden keine negativen Nebenwirkungen beobachtet. Die frühe Anwendung der HFOV kann bei Erwachsenen mit akutem Lungenversagen eine vorteilhafte Beatmungsstrategie darstellen, selbst in der postoperativen Phase nach einer Lungenresektion.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10551979>

The American Surgeon, 1999, 65: 1092–6

High-frequency oscillatory ventilation can be effective as rescue therapy for refractory acute lung dysfunction

(Die Hochfrequenzbeatmung kann eine effektive Rescue-Therapie bei refraktärer akuter Lungenfunktionsstörung darstellen)

Claridge, J. A.; Hostetter, R. G.; Lawson, S. M.; Young, J. S.

Abteilung für Chirurgie, Traumazentrum der Universität von Virginia, Charlottesville, USA

Die Anwendung der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) bei erwachsenen Patienten ist beschränkt. Das Hauptziel dieser Pilotstudie war es, die HFOV bei erwachsenen Traumapatienten mit refraktärer Lungenfunktionsstörung zu evaluieren. Eine refraktäre Lungenfunktionsstörung lag laut Definition vor, wenn der $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotient trotz maximaler Unterstützung durch konventionelle mechanische Beatmung (CMV) über eine Stunde hinweg < 75 war. Zwischen Mai 1998 und Dezember 1998 wurden fünf Patienten nach Versagen der CMV auf HFOV umgestellt. Der mittlere $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotient erhöhte sich nach Initiierung der HFOV innerhalb von zwei Stunden signifikant von anfangs $52,2 \pm 4,73$ ($p < 0,05$) auf $126,8 \pm 21$ und blieb auch nach 48 Stunden unter HFOV weiterhin signifikant erhöht ($p < 0,01$) bei $181 \pm 26,1$. Mittlerer Atemwegsdruck (MAP) und Spitzendruck waren nach der HFOV signifikant niedriger ($p < 0,01$). Der durchschnittliche MAP der fünf Patienten lag zu Beginn bei $34,6 \pm 1,6$ cm H_2O und nach 48 Stunden unter HFOV bei $25,2$ cm H_2O . Der mittlere Spitzendruck betrug zu Beginn $52,4 \pm 3,0$ cm H_2O und nach Beendigung der HFOV $35,8 \pm 3,01$. Das Überleben betrug 80,0 % (vier von fünf Patienten). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle Patienten nach Initiierung der HFOV eine Besserung zeigten. HFOV sollte bei der Behandlung von Patienten mit akuter refraktärer Lungenfunktionsstörung in Erwägung gezogen werden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10551763>

Critical Care Medicine, 1997, 25: 937–47

High-frequency oscillatory ventilation for adult respiratory distress syndrome – a pilot study

(Hochfrequenzbeatmung beim akuten progressiven Lungenversagen A eine Pilotstudie)

Fort, P.; Farmer, C.; Westerman, J.; Johannigman, J.; Beninati, W.; Dolan, S.; Derdak, S.
Abteilung für Pneumologie/Intensivmedizin, Wilford Hall Medical Center, Luftwaffenstützpunkt Lackland, San Antonio, Texas, USA

ZIEL: Evaluierung der Sicherheit und Wirksamkeit der Hochfrequenzbeatmung mithilfe eines Protokolls zur Rekrutierung und Aufrechterhaltung eines optimalen Lungenvolumens bei Patienten mit schwerem akutem progressiven Lungenversagen (ARDS). **UMGEBUNG:** Chirurgische und medizinische Intensivstation in einem tertiären militärischen Lehrkrankenhaus. **DESIGN:** Prospektive klinische Studie. **PATIENTEN:** 17 Patienten, zwischen 17 und 83 Jahren, mit schwerem ARDS (Murray-Score: 3,81 +/-0,23), die auf eine konventionelle mechanische Beatmung mit umgekehrtem Atemphasen/Zeit-Verhältnis (paO₂/FiO₂-Quotient: 68,6 +/-21,6; inspiratorischer Spitzendruck: 54,3 +/-12,7 cm H₂O; positiver endexpiratorischer Druck: 18,2 +/-6,9 cm H₂O) nicht ansprachen. **INTERVENTIONEN:** Nach unterschiedlich langen Perioden unter konventioneller Beatmung (5,12 +/-4,3 Tage) wurde die Hochfrequenzbeatmung initiiert. Es wurde eine Strategie zur Rekrutierung von Lungenvolumen angewendet, das aus einer schrittweisen Erhöhung des mittleren Atemwegsdrucks bestand, um einen paO₂ ≥ 60 mm Hg (≥ 8,0 kPa) mit einer FiO₂ ≤ 0,6 zu erreichen.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Während der Umstellung auf die Hochfrequenzbeatmung und über den gesamten Verlauf des Hochfrequenzbeatmungs-Protokolls hinweg wurden die Ventilatoreinstellungen (FiO₂, mittlerer Atemwegsdruck, Druckamplitude der Oszillation [DeltaP], Frequenz) und hämodynamische Parameter (Herzzeitvolumen, Sauerstofftransport [DO₂]), mittlerer systemischer und Pulmonalarteriendruck sowie Oxygenierungsindex (Oxygenierungsindex = [FiO₂ x mittlerer Atemwegsdruck x 100]/paO₂) überwacht. Dreizehn Patienten zeigten eine Verbesserung des Gasaustausches und eine Gesamtverbesserung des paO₂/FiO₂-Quotienten (p < 0,02). Zwölf, 24 und 48 Stunden nach Initiierung der Hochfrequenzbeatmung wurde eine Reduktion des Oxygenierungsindex (p < 0,01) und der FiO₂ (p < 0,02) festgestellt. Unter der Hochfrequenzbeatmung kam es zu keiner signifikanten Beeinträchtigung des Herzzeitvolumens oder DO₂, trotz eines signifikanten Anstiegs des mittleren Atemwegsdrucks (von 31,2 +/-10,3 auf 34,0 +/-6,7 cm H₂O, p < 0,05). Die Gesamtüberlebensrate nach 30 Tagen betrug 47 %. Eine längere Vorbehandlungsdauer (in Tagen) unter konventioneller Beatmung (p < 0,009) sowie ein Eingangs-Oxygenierungsindex > 47 (Empfindlichkeit 100 %, Spezifität 100 %) waren mit der Mortalität assoziiert.

FAZIT: Die Hochfrequenzbeatmung ist sowohl eine sichere als auch effektive Behandlungsoption für erwachsene Patienten mit ARDS, die auf konventionelle Beatmung nicht ansprechen. Durch Anwendung einer Strategie zur Rekrutierung von Lungenvolumen während der Hochfrequenzbeatmung verbesserte sich der Gasaustausch ohne Beeinträchtigung des DO₂. Diese Ergebnisse sind viel versprechend. Es ist nun eine prospektive, randomisierte Studie zur algorithmusgestützten konventionellen Beatmung im Vergleich zur Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen mit schwerem ARDS erforderlich.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9201044>

4. VISION α [®] HFOV

4.3. Verbrennungen

Critical Care Medicine, 2005, 33: S175–81

Use of high-frequency oscillatory ventilation in burn patients (Anwendung der Hochfrequenzbeatmung bei Verbrennungspatienten)

Cartotto, R.; Ellis, S.; Smith, T.

Ross Tilley-Verbrennungszentrum, Sunnybrook and Women's College Health Sciences Centre, Toronto, Kanada

HINTERGRUND: Patienten mit schweren Brandverletzungen entwickeln häufig ein akutes progressives Lungenversagen (ARDS). Die Hochfrequenzbeatmung (HFOV) wird seit 1999 erfolgreich in unserem regionalen Verbrennungszentrum zum Management des Oxygenierungsversagens infolge eines ARDS eingesetzt. Darüber hinaus wird sie zur intraoperativen Beatmung angewendet, um trotz Vorliegen eines schweren ARDS die chirurgische Exzision von Brandwunden zu ermöglichen.

ZIEL: Das Ziel dieses Artikels ist es, die Anwendung von HFOV bei Verbrennungspatienten zu evaluieren. Der Schwerpunkt liegt dabei auf den Indikationen und Auswahlkriterien für die Initiierung der HFOV, besonderen Überlegungen für Patienten mit schwerer Schädigung durch Rauchinhalation und dem Konzept der intraoperativen HFOV.

UMGEBUNG: Regionales Verbrennungszentrum für Erwachsene an einem tertiären Universitätskrankenhaus

ERGEBNISSE: Die HFOV wurde mittlerweile bei 36 Patienten mit schweren Brandverletzungen angewendet, von denen 33 % an einer assoziierten Schädigung durch Rauchinhalation litten. Die HFOV führte bei Verbrennungspatienten mit Oxygenierungsversagen infolge eines ARDS zu einer signifikanten Verbesserung der Oxygenierung. Bei Patienten mit einer Schädigung durch Rauchinhalation bewirkte die HFOV eine langsamere und weniger stabile Verbesserung des Oxygenierungsversagens als bei den Patienten, die nur Brandverletzungen hatten. HFOV wurde intraoperativ bei 33 Eingriffen an 18 Patienten ohne Komplikationen angewendet.

FAZIT: Die HFOV ist in unserem Verbrennungszentrum eine unentbehrliche Beatmungsmodalität. Sie spielt eine wichtige Rolle zur Verbesserung des Oxygenierungsversagens bei Patienten mit ARDS sowie zur Ermöglichung der frühen Exzision und des Verschlusses von Brandwunden bei diesen Patienten.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15753725>

Burns, 2004, 30: 453–63

High frequency oscillatory ventilation in burn patients with the acute respiratory distress syndrome

(Hochfrequenzbeatmung bei Verbrennungspatienten mit akutem progressivem Lungenversagen)

Cartotto, R.; Ellis, S.; Gomez, M.; Cooper, A.; Smith, T.

Ross Tilley-Verbrennungszentrum, Sunnybrook and Women's College Health Sciences Centre, Toronto, Ontario, Kanada

HINTERGRUND: Die Hochfrequenzbeatmung (HFOV) verbessert den Gasaustausch und bewirkt gleichzeitig lungenprotektive Effekte während der Beatmung von Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen (ARDS). Das Ziel der vorliegenden Studie war es, unsere Erfahrungen mit HFOV bei erwachsenen Verbrennungspatienten mit Oxygenierungsversagen infolge eines ARDS zu evaluieren.

METHODEN: Retrospektive Kohortenstudie an allen Patienten, die in einem regionalen Verbrennungszentrum für Erwachsene mit HFOV behandelt wurden

ERGEBNISSE: Alle Werte werden als Mittelwert +/-Standardabweichung (SD) wiedergegeben. HFOV wurde in 28 Fällen bei 25 Patienten (Alter: 44 +/-16 Jahre; Verbrennung TBSA: 40 +/-15 % und Inzidenz des Inhalationstraumas: 28 %), die an einem schweren Oxygenierungsversagen infolge eines ARDS litten ($\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotient: 98 +/-26 und Oxygenierungsindex (OI) [$\text{FiO}_2 \times 100 \times \text{mittlerer Atemwegsdruck}/\text{paO}_2$]: 27 +/-10), nach 4,8 +/-4,4 Tagen unter konventioneller mechanischer Beatmung (CMV) angewendet. Nach Umstellung von CMV auf HFOV kam es zu einer signifikanten Verbesserung des $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotienten innerhalb von einer Stunde und des Oxygenierungsindex innerhalb von 24 Stunden. Die Dauer der HFOV betrug 6,1 +/-5,8 Tage. Die HFOV wurde während 26 chirurgischen Eingriffen an 14 Patienten fortgeführt, bei denen im Mittel Brandwunden mit einem TBSA von 18 +/-9 % exzidiert und verschlossen wurden. Die einzigen Komplikationen im Zusammenhang mit der HFOV waren drei Episoden schwerer Hyperkapnie. Die Krankenhausmortalität betrug 32 %.

FAZIT: Die HFOV erwies sich bei Verbrennungspatienten als eine sichere und hoch effektive Methode zur Korrektur des Oxygenierungsversagens infolge eines ARDS und kann bei diesen Patienten auch erfolgreich als intraoperative Behandlungsmodalität angewendet werden.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15225911>

The Journal of Burn Care and Rehabilitation, 2001, 22: 325–33

Early clinical experience with high-frequency oscillatory ventilation for ARDS in adult burn patients

(Erste Erfahrungen mit der Hochfrequenzbeatmung für ARDS bei erwachsenen Verbrennungspatienten)

Cartotto, R.; Cooper, A. B.; Esmond, J. R.; Gomez, M.; Fish, J. S.; Smith, T.
Ross Tilley-Verbrennungszentrum, Sunnybrook and Women's College Health Sciences Centre,
Toronto, Ontario, Kanada

Beim akuten progressiven Lungenversagen werden lungenprotektive Beatmungsstrategien empfohlen, um beatmungsassoziierte Lungenschäden, eine vor kurzem beschriebene Komplikation der mechanischen Beatmung, zu vermeiden. Die Hochfrequenzbeatmung (HFOV) ist eine unkonventionelle Beatmungsstrategie, mit der dieses Ziel erreicht werden kann. Wir evaluierten unsere Erfahrungen mit HFOV bei sechs schwer brandverletzten Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen. Das mittlere Alter (+/-SD) der Patienten betrug 34 +/-13 Jahre und der mittlere TBSA der Verbrennungen lag bei 52 +/-10 % mit einer mittleren Verbrennungstiefe von 49 +/-12 %. Die HFOV wurde als Rescue-Therapie bei drei Patienten mit Oxygenierungsversagen (mittlerer paO_2/FIO_2 -Quotient: 71 +/-8 und mittlerer Oxygenierungsindex [OI]: 42 +/- 3) initiiert, die refraktär gegenüber konventioneller Beatmung war (mittlere FIO_2 : 1,0 +/- 0; mittlerer positiver endexpiratorischer Druck: 14,8 +/-2,8 cm H_2O und mittleres inhalatives Stickstoffmonoxid: 20 +/-0 ppm). In den anderen drei Fällen wurde die HFOV „prophylaktisch“ als lungenprotektive Beatmungsstrategie in dem Versuch initiiert, eine weitere respiratorische Verschlechterung zu verhindern. Alle sechs Patienten zeigten nach Initiierung der HFOV eine rasche und wesentliche Verbesserung der Oxygenierung mit signifikanten Verbesserungen des paO_2/FIO_2 -Quotienten und OI nach 12 Stunden ($p = 0,02$). Bei vier Patienten wurde die HFOV außerdem während der Narkose und Operation eingesetzt, wobei insgesamt 10 Eingriffe mit Exzision und Verschluss von Brandwunden mit einer mittleren TBSA von 15 +/-7 % vorgenommen wurden. Fünf der sechs Patienten verstarben, keiner verstarb jedoch aufgrund von Oxygenierungsversagen. Bei drei Patienten war die Todesursache Sepsis und Multiorganversagen. Direkt vor dem Ableben lag der mittlere paO_2/FIO_2 -Quotient dieser Patienten bei 107 +/-31 und der mittlere OI bei 30 +/-11. Zwei Patienten mit Multiorganversagen starben nach Beendigung der lebenserhaltenden Maßnahmen. Ihr mittlerer paO_2/FIO_2 -Quotient und OI betrug zum Zeitpunkt dieser Entscheidung 178 +/-31 bzw. 18 +/-2. Die HFOV hatte zwar keine Wirkung auf die Mortalität, sie spielte jedoch eine nützliche Rolle beim unterstützenden Management von Verbrennungspatienten mit schwerem Oxygenierungsversagen, das refraktär gegenüber konventioneller Beatmung war. Insbesondere ermöglichte die HFOV chirurgische Eingriffe bei Patienten, die ansonsten zu instabil für eine Operation gewesen wären. Soweit uns bekannt ist, ist dies der erste Bericht über die intraoperative Anwendung von HFOV bei Verbrennungspatienten.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11570532>

4. VISION α [®] HFOV

4.4. Atemtherapie

Journal of Intensive Care Medicine, 2009; 24: 215

Analytic Reviews: High-Frequency Oscillatory Ventilation (HFOV) and Airway Pressure Release Ventilation (APRV): A Practical Guide
(Analytische Evaluierungen der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) und Airway Pressure Release Ventilation (APRV): Ein praktischer Leitfaden)

Stawicki, S. P., M. D.; Goyal, M., M. D.; Sarani, B., M. D., FACS

Trotz Fortschritten im Beatmungsmanagement versterben 31 % bis 38 % der Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen (ARDS), einige davon an einer progressiven respiratorischen Insuffizienz. Die Unfähigkeit, eine adäquate Oxygenierung von Patienten mit schwerem ARDS sicherzustellen, hat zu umfassenden Bemühungen geführt, so genannte alternative Beatmungsmodalitäten, wie Hochfrequenzbeatmung und Airway Pressure Release Ventilation, zu finden. Beide Modalitäten basieren auf den Grundsätzen des Konzepts der „offenen Lunge“ und haben das Ziel, die Oxygenierung zu verbessern, indem sie die Lunge über einen längeren Zeitraum hinweg gleichmäßig aufgebläht halten. Zwar wurde bislang kein Mortalitätsvorteil nachgewiesen, doch einige Patienten können von diesen alternativen Beatmungsmodalitäten als Rescue-Maßnahmen profitieren, während der zugrunde liegende Prozess behoben wird. Das Ziel dieses Artikels ist es, die klinische Evidenz und die Mechanismen, auf denen jede Modalität basiert, zu evaluieren sowie die fundamentalen Schritte zur Initiierung, Einstellung und Beendigung dieser Beatmungsformen zu beschreiben.

<http://jic.sagepub.com/cgi/content/abstract/24/4/215>

Critical Care Medicine, 2007, 35: 1649–54

A protocol for high-frequency oscillatory ventilation in adults: results from a roundtable discussion

(Ein Protokoll für die Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen: Ergebnisse eines Runden Tisches)

Fessler, H. E.; Derdak, S.; Ferguson, N. D.; Hager, D. N.; Kacmarek, R. M.; Thompson, B. T.; Brower, R. G.

Abteilung für Pneumologie und Intensivmedizin, Medizinische Fakultät der Johns Hopkins University, Baltimore, USA

ZIEL: Die für die Hochfrequenzbeatmung (HFOV) bei Erwachsenen typischerweise verwendeten Ventilatoreinstellungen erzielen zwar einen adäquaten Gasaustausch, nutzen jedoch nicht immer deren lungenprotektive Eigenschaften voll aus. Im Folgenden werden Leitlinien für die HFOV bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen beschrieben, die die lungenprotektiven Effekte dieser Beatmungsmodalität optimieren sollten.

DESIGN: Runde Tische, wiederholte Prüfungen und Konsensus. **UMGEBUNG:** Fünf akademische Krankenhäuser. **PATIENTEN:** Nicht zutreffend.

INTERVENTIONEN: Die Teilnehmer diskutierten, wie sich die Belüftung durch Kombinationen von Oszillationsdruckamplitude, Frequenz und Anwendung einer Leckage der Tubusmanschette bzw. die Oxygenierung durch Kombinationen von Rekrutierungsmanövern, mittlerem Atemwegsdruck und Sauerstoffkonzentration am besten aufrechterhalten lassen. Die Leitlinien sollten eine lungenprotektive Beatmung bei gleichzeitiger Minimierung der Tidalvolumen ermöglichen und Risiken und Nutzen von Lungenrekrutierung und Aufblähung gegeneinander abwägen.

HAUPTERGEBNISSE: Die HFOV kann kleinere Tidalvolumen applizieren und eine vollständigere Lungenrekrutierung ermöglichen als konventionelle Modalitäten. Zur Optimierung dieser Effekte empfehlen wir die Anwendung einer maximalen Oszillationsdruckamplitude in Kombination mit der höchsten, noch tolerierten Frequenz, um einen pH von 7,25 bis 7,35 zu erreichen. Dadurch wird ein kleineres Tidalvolumen appliziert als bei typischen HFOV-Einstellungen, bei denen die Frequenz auf 6 Hz oder weniger beschränkt und die Druckamplitude submaximal ist. Eine Lungenrekrutierung lässt sich durch Anwendung von Rekrutierungsmanövern erreichen, insbesondere in den ersten Tagen unter HFOV. Die Rekrutierung kann durch höhere mittlere Atemwegsdrücke verstärkt oder aufrechterhalten werden. Diese können entweder aus einer Tabelle mit empfohlenen Kombinationen von mittleren Atemwegsdrücken und Sauerstoffkonzentrationen ausgewählt oder für jeden Patienten individuell basierend auf der Wirkung auf die Oxygenierung titriert werden.

FAZIT: Die Anpassung der Ziele und Taktiken der HFOV kann einen besseren Schutz vor beatmungsassoziierten Lungenschäden bieten. Es sind weitere klinische Studien erforderlich, um die Wirkungen auf das Patienten-Outcome zwischen der optimierten HFOV und einer maximal lungenprotektiven Anwendung konventioneller Modalitäten beim akuten progressiven Lungenversagen bei Erwachsenen zu vergleichen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17522576>

Critical Care Medicine, 2007, 35: 1522–9

Tidal volume delivery during high-frequency oscillatory ventilation in adults with acute respiratory distress syndrome

(Tidalvolumen-Applikation während der Hochfrequenzbeatmung von Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen)

Hager, D. N.; Fessler, H. E.; Kaczka, D. W.; Shanholtz, C. B.; Fuld, M. K.; Simon, B. A.; Brower, R. G.
Abteilung für Pneumologie und Intensivmedizin, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, USA

ZIEL: a) Beschreibung, wie Ventilator- und Patientenvariablen das Tidalvolumen während der Hochfrequenzbeatmung beeinflussen, und b) Messung der Tidalvolumen bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen während der Hochfrequenzbeatmung

DESIGN: Beobachtungsstudie

UMGEBUNG: Forschungslabor und medizinische Intensivstation. **PATIENTEN:** Testlunge und Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen

INTERVENTIONEN: Unter Verwendung eines zuvor validierten Hitzdrahtanemometers, das in Reihe zu einem Hochfrequenzbeatmungsgerät (Sensormedics 3100B) geschaltet wurde, einem Endotrachealtubus und einer Testlunge wurde das Tidalvolumen gemessen. Dabei wurden unterschiedliche Kombinationen von Frequenz (4, 6, 8, 10 und 12 Hz), Druckamplitude (50, 60, 70, 80 und 90 cm H₂O), mittlerem Atemwegsdruck (20, 30 und 40 cm H₂O), Testlungen-Compliance (10, 30 und 50 ml/cm H₂O), Innendurchmesser des Endotrachealtubus (6, 7 und 8 mm), Bias-Flow (20, 30 und 40 l/Min.) und Atemzeitverhältnis (1:2 und 1:1) angewendet. Bei den Patienten wurde das Tidalvolumen bei den Baseline-Ventilatoreinstellungen sowie bei der Baseline-Frequenz +/-2 Hz und Baseline-Druckamplitude +/-10 cm H₂O gemessen.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Das gemessene Tidalvolumen lag während der Hochfrequenzbeatmung der Testlunge bei 23 bis 225 ml. Durch Erhöhung der Frequenz um 2 Hz und der Druckamplitude um 10 cm H₂O kam es zu einer Verringerung des Tidalvolumens um 21,3 % +/-4,1 % bzw. Erhöhung um 21,4 % +/-3,4 %. Eine Verkleinerung des Innendurchmessers des Endotrachealtubus von 8 mm auf 7 mm und von 7 mm auf 6 mm bewirkte eine Verringerung des Tidalvolumens um 15,3 % +/-1,7 % bzw. 18,9 % +/-2,1 %. Bei Erhöhung des Bias-Flows von 20 l/Min. auf 30 l/Min. erhöhte sich das Tidalvolumen um 11,2 % +/-3,9 %. Eine weitere Erhöhung des Bias-Flows und Veränderungen der Compliance und des mittleren Atemwegsdrucks hatten nur eine geringe Wirkung. Das bei Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen gemessene Tidalvolumen betrug 44 bis 210 ml. Eine Erhöhung der Frequenz um 2 Hz führte zu einer Verringerung des Tidalvolumens um 23,1 % +/-6,3 %. Im Gegensatz zur Testlunge bewirkte eine Erhöhung der Druckamplitude um 10 cm H₂O nur eine Erhöhung um 5,6 % +/-4,5 % des Tidalvolumens.

FAZIT: Tidalvolumen sind während der Hochfrequenzbeatmung nicht einheitlich niedrig. Die primäre Bestimmungsgröße für das Tidalvolumen bei Erwachsenen mit akutem progressivem Atemversagen während der Hochfrequenzbeatmung mit dem Sensormedics 3100B ist die Frequenz. Die Ergebnisse der Testlunge deuten darauf hin, dass auch der Innendurchmesser des Endotrachealtubus einen wichtigen Einfluss auf das Tidalvolumen hat.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17440422>

Critical Care, 2006, 10: R100

Effect of a lung recruitment maneuver by high-frequency oscillatory ventilation in experimental acute lung injury on organ blood flow in pigs

(Wirkung eines Lungenrekrutierungsmanövers unter Hochfrequenzbeatmung beim experimentellen akuten Lungenversagen auf die Organperfusion bei Schweinen)

David, M.; Gervais, H. W.; Karmrodt, J.; Depta, A. L.; Kempfski, O.; Markstaller, K.
Klinik für Anästhesiologie, Klinikum der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

EINLEITUNG: Ziel war es, die Wirkungen eines Lungenrekrutierungsverfahrens durch schrittweise Erhöhung des mittleren Atemwegsdrucks auf die Organperfusion und Hämodynamik während der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) im Vergleich zur druckkontrollierten Beatmung (PCV) beim experimentellen Lungenversagen zu untersuchen.

METHODEN: Bei sieben narkotisierten Schweinen (23 bis 26 kg) wurde mittels wiederholter Lungenlavage eine Lungenschädigung induziert. HFOV und PCV wurden in randomisierter Abfolge angewendet, wobei der mittlere Atemwegsdruck mit einer festgelegten Sequenz (20, 25 und 30 mbar alle 30 Minuten) erhöht wurde. Bei jeder Einstellung des mittleren Atemwegsdrucks wurden transpulmonaler Druck, systemische hämodynamische Werte, intrakranieller Druck, zerebraler Perfusionsdruck, Organperfusion (fluoreszierende Mikrosphären), Blutgaswerte im venösen Mischblut und im arteriellen Blut sowie der berechnete pulmonale Shunt bestimmt.

ERGEBNISSE: Der transpulmonale Druck erhöhte sich während der Lungenrekrutierung (HFOV: von 15 +/-3 mbar auf 22 +/-2 mbar, $p < 0,05$; PCV: von 15 +/-3 mbar auf 23 +/-2 mbar, $p < 0,05$) und hohe Atemwegsdrücke führten zu einem Anstieg des linksventrikulären enddiastolischen Drucks (HFOV: von 3 +/-1 mm Hg auf 6 +/-3 mm Hg, $p < 0,05$; PCV: von 2 +/-1 mm Hg auf 7 +/-3 mm Hg, $p < 0,05$), des pulmonalarteriellen Verschlussdrucks (HFOV: von 12 +/-2 mm Hg auf 16 +/-2 mm Hg, $p < 0,05$; PCV: von 13 +/-2 mm Hg auf 15 +/-2 mm Hg, $p < 0,05$) und des intrakraniellen Drucks (HFOV: von 14 +/-2 mmHg auf 16 +/-2 mm Hg, $p < 0,05$; PCV: von 15 +/-3 mm Hg auf 17 +/-2 mm Hg, $p < 0,05$). Gleichzeitig verringerten sich der mittlere arterielle Druck (HFOV: von 89 +/-7 mm Hg auf 79 +/-9 mm Hg, $p < 0,05$; PCV: von 91 +/-8 mm Hg auf 81 +/-8 mm Hg, $p < 0,05$), Herzzeitvolumen (HFOV: von 3,9 +/-0,4 l/Min. auf 3,5 +/-0,3 l/Min., $p < 0,05$; PCV: von 3,8 +/-0,6 l/Min. auf 3,4 +/-0,3 l/Min., $p < 0,05$) und Schlagvolumen (HFOV: von 32 +/-7 ml auf 28 +/-5 ml, $p < 0,05$; PCV: von 31 +/-2 ml auf 26 +/-4 ml, $p < 0,05$). Der Blutfluss zu Herz, Gehirn, Nieren und Jejunum wurde aufrechterhalten. Die Oxygenierung verbesserte sich und die pulmonale Shunt-Fraktion verringerte sich auf unter 10 % (HFOV: $p < 0,05$; PCV: $p < 0,05$). Es wurden keine Unterschiede zwischen HFOV und PCV bei vergleichbaren transpulmonalen Drücken festgestellt.

FAZIT: Die Anwendung eines typischen Rekrutierungsverfahrens zu Beginn der HFOV bewirkte eine Verbesserung der Oxygenierung, verringerte jedoch auch die systemischen hämodynamischen Werte bei hohen transpulmonalen Drücken. Dabei wurden keine Änderungen bezüglich vasoaktiver Medikamente und Flüssigkeitsmanagement vorgenommen. Der Blutfluss zu den Organen war während der Lungenrekrutierung nicht beeinträchtigt. Diese Effekte waren unabhängig von der angewendeten Beatmungsmodalität.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16836767>

Critical Care Medicine, 2006, 34: 751–7

Four methods of measuring tidal volume during high-frequency oscillatory ventilation

(Vier Methoden zum Messen des Tidalvolumens während der Hochfrequenzbeatmung)

Hager, D.N.; Fuld, M.; Kaczka, D. W.; Fessler, H. E.; Brower, R. G.; Simon, B. A.
*Abteilung für Pneumologie und Intensivmedizin, Fachbereich für Anästhesiologie und Intensivmedizin,
Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, USA*

ZIEL: Beurteilung der Genauigkeit von vier verschiedenen Methoden zum Messen des Tidalvolumens während einer simulierten Hochfrequenzbeatmung.

DESIGN: In-vitro-Studie. **UMGEBUNG:** Forschungslabor. **PROBANDEN:** Drei Differenzdruck-Pneumotachographen, ein modifiziertes Pitot-Rohr, ein Ultraschall-Durchflussmesser und ein Hitzdrahtanemometer. **INTERVENTIONEN:** Jedes Gerät wurde in Reihe zu einem Hochfrequenzbeatmungsgerät (Sensormedics 3100B) geschaltet und ein 8,0-mm-Endotrachealtubus wurde an einen 48,9-Liter-Plethysmographen angeschlossen. Das Atemzeitverhältnis wurde fest auf 1:1 und der mittlere Atemwegsdruck auf 10 cm H₂O eingestellt. Die Tidalvolumen wurden bei jeder Kombination von Frequenz (f: 3, 4, 6, 8, 10, 12 Hz) und Druckamplitude (DeltaP: 30, 60, 90 cm H₂O) mittels digitaler Integration der gemessenen Flusssignale von jedem Gerät berechnet und mit denen verglichen, die anhand der Druckänderungen im Plethysmographen ermittelt wurden. Das Protokoll wurde nach Aufnahme frequenzspezifischer Kalibrierungen in den Algorithmus zur Flussmessung eines jeden Geräts wiederholt. Mit dem Hitzdrahtanemometer wurden weitere Messungen bei einer FiO₂ von 1,0, 37 °C, 80 % Luftfeuchtigkeit, einem mittleren Atemwegsdruck von 20 cm H₂O und einem Atemzeitverhältnis von 1:2 durchgeführt.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Das Tidalvolumen betrug zwischen 36 und 305 ml. Eine Bland-Altman-Analyse ergab, dass jedes Gerät vor der frequenzspezifischen Anpassung eine systematische Messabweichung aufwies. Nach der frequenzspezifischen Anpassung des Algorithmus zur Flussmessung waren die beiden genauesten und präzisesten Geräte der Hans Rudolph-Pneumotachograph, der einen mittleren Fehler von 0,2 % (95 % Konfidenzintervall, 3,0 % bis 3,4 %) aufwies, und das Hitzdrahtanemometer mit einem mittleren Fehler von -1,1 % (95 % Konfidenzintervall, -5,5 % bis 3,3 %). Das Hitzdrahtanemometer lieferte auch bei einer FiO₂ von 1,0, 37 °C, 80 % Luftfeuchtigkeit, einem mittleren Atemwegsdruck von 20 cm H₂O und einem Atemzeitverhältnis von 1:2 genaue Messungen.

FAZIT: Das Tidalvolumen kann während der Hochfrequenzbeatmung mit einer Reihe verschiedener Methoden gemessen werden. Eine frequenzspezifische Kalibrierung verbessert die Genauigkeit und Präzision der Tidalvolumenmessungen. Die Hitzdrahtanemometrie weist über den gesamten Bereich verschiedener Temperaturen, Luftfeuchtigkeiten, FiO₂ und Atemzeitverhältnisse, die klinisch auftreten können, stabile Leistungsmerkmale auf, hat einen kleinen Totraum und wird vom mittleren Atemwegsdruck nicht beeinflusst. Sie eignet sich somit für klinische Anwendungen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16505661>

Physiological Research, 2006, 55: 15–24

Normocapnic high-frequency oscillatory ventilation affects differently extrapulmonary and pulmonary forms of acute respiratory distress syndrome in adults

(Die normokapnische Hochfrequenzbeatmung hat eine unterschiedliche Wirkung auf das akute progressive Lungenversagen extrapulmonaler und pulmonaler Genese bei Erwachsenen)

Pachl, J.; Roubík, K.; Waldauf, P.; Fric, M.; Zábrodský, V.

Fachbereich Anästhesiologie und Intensivmedizin, 3. Medizinische Fakultät, Karls-Universität, Prag, Tschechische Republik

Die Unterschiede zwischen dem akuten progressiven Lungenversagen pulmonaler und extrapulmonaler Genese (ARDS(p), ARDS(exp)), über die kürzlich berichtet wurde, haben eine wissenschaftliche Diskussion über die potenziellen unterschiedlichen Wirkungen aktueller Beatmungsstrategien entfacht. Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, zu beurteilen, ob sich das Vorliegen eines ARDS(p) bzw. ARDS(exp) unterschiedlich auf die positiven Effekte der Hochfrequenzbeatmung (HFOV), die diese auf physiologische und klinische Parameter hat, auswirkt. Bei 30 Erwachsenen, die die ARDS-Kriterien erfüllten, wurde die Indikation zur HFOV im Fall eines Versagens der konventionellen Beatmungsstrategie gestellt. Je nach ARDS-Form wurde jeder Patient entweder der Gruppe mit ARDS(p) oder der Gruppe mit ARDS(exp) zugeteilt. Sechs Stunden nach Initiierung der normokapnischen HFOV war in der ARDS(p)-Gruppe keine signifikante Erhöhung des $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotienten festzustellen (von 129 ± 47 auf 133 ± 50 mm Hg), in der ARDS(exp)-Gruppe kam es jedoch zu einer signifikanten Verbesserung (von 114 ± 54 auf 200 ± 65 mm Hg, $p < 0,01$). Trotz des nur geringfügigen Unterschieds hinsichtlich des zuletzt gemessenen mittleren Atemwegsdrucks (MAP) unter konventioneller mechanischer Beatmung (CMV) zwischen den beiden Gruppen lag der anfängliche, optimale, kontinuierliche Distensionsdruck (CDP) für den besten $\text{paO}_2/\text{FiO}_2$ -Quotienten unter HFOV bei $2,0 \pm 0,6$ kPa in der ARDS(p)-Gruppe bzw. $2,8 \pm 0,6$ kPa in der ARDS(exp)-Gruppe ($p < 0,01$). HFOV bewirkt in der ARDS(exp)-Gruppe eine Rekrutierung und ist somit in dieser Gruppe effektiver. ARDS(exp)-Patienten benötigen höhere CDP-Niveaus als ARDS(p)-Patienten. Es wird nicht empfohlen, den Zeitraum für die Prüfung auf eine positive Wirkung der HFOV auf mehr als 24 Stunden auszudehnen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15857169>

Critical Care Medicine, 2005, 33: 479-86

Combining high-frequency oscillatory ventilation and recruitment maneuvers in adults with early acute respiratory distress syndrome: the Treatment with Oscillation and an Open Lung Strategy (TOOLS) Trial pilot study

(Kombination von Hochfrequenzbeatmung und Rekrutierungsmanövern bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen im Frühstadium: die TOOLS [Treatment with Oscillation and Open Lung Strategy]-Pilotstudie)

Ferguson, N. D.; Chiche, J. D.; Kacmarek, R. M.; Hallett, D. C.; Mehta, S.; Findlay, G. P.; Granton, J. T.; Slutsky, A. S.; Stewart, T.E.

Fachbereich für Medizin, Abteilung für Atemheilkunde und fachübergreifende Abteilung für Intensivmedizin, University Health Network und Mount Sinai Hospital, Universität Toronto, Toronto, Kanada

ZIEL: Bestimmung der Sicherheit, praktischen Anwendbarkeit und Lungenrekrutierungs-Wirksamkeit eines detaillierten Beatmungsprotokolls, das die Hochfrequenzbeatmung mit Rekrutierungsmanövern kombiniert. **DESIGN:** Prospektive, multizentrische Pilotstudie mit einfacher Intervention. **UMGEBUNG:** Vier universitäre Intensivstationen. **PATIENTEN:** 25 Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen im Frühstadium und schwerem Oxygenierungsversagen. **INTERVENTIONEN:** Die Patienten wurden von einer standardisierten konventionellen Beatmung auf die Hochfrequenzbeatmung umgestellt. Dabei wurde mit einem Anfangszyklus von bis zu drei Rekrutierungsmanövern in Form einer anhaltenden Aufblähung der Lunge (40 cm H₂O x 40 Sek.) begonnen, gefolgt von einer schrittweisen Verringerung der FiO₂ und anschließend des mittleren Atemwegsdrucks. Die Rekrutierungsmanöver wurden bei Hypoxämie und routinemäßig mindestens zweimal täglich wiederholt, wenn die FiO₂ > 0,4 betrug. Für die Entwöhnung von der Hochfrequenzbeatmung, für die Umstellung zur konventionellen Beatmung und für die Beurteilung der Unverträglichkeit der konventionellen Beatmung, wonach Patienten wieder auf die Hochfrequenzbeatmung umgestellt werden sollten, wurde ein spezifisches Protokoll angewendet.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Die Patienten (Median [Interquartilbereich] APACHE II: 24 [19–32]; Alter: 50 [41–64]) wurden nach 13 Stunden (Bereich: 6–51 Stunden) unter konventioneller Beatmung in die Studie aufgenommen. Nach dem ersten Rekrutierungszyklus kam es zu einer signifikanten Erhöhung des mittleren (+/-SD) paO₂/FiO₂-Quotienten im Vergleich zur standardisierten konventionellen Beatmung (200 +/- 117 vs. 92 +/- 36 mm Hg, p < 0,001). Nach im Mittel zwölf Stunden unter Hochfrequenzbeatmung war die mittlere FiO₂ verglichen mit den Werten vor der Studie signifikant verringert (0,5 +/- 0,2 vs. 0,9 +/- 0,1, p < 0,001). Im Median wurden pro Patient über den Studienzeitraum hinweg sieben (vier bis 11) Rekrutierungsmanöver durchgeführt, wobei nur acht von 244 (3,3 %) abgebrochen wurden. Sechs von 19 Patienten, die auf konventionelle Beatmung umgestellt worden waren (32 %), wurden als intolerant eingestuft und wieder auf Hochfrequenzbeatmung umgestellt. Die Einhaltung des Protokolls war mit einer dokumentierten Rate > 90 % ausgezeichnet.

FAZIT: Die Kombination von Hochfrequenzbeatmung und Rekrutierungsmanövern bewirkte eine rasche und nachhaltige Verbesserung der Oxygenierung, die höchstwahrscheinlich auf die Lungenrekrutierung zurückzuführen war. Dieses detaillierte Hochfrequenzbeatmungsprotokoll scheint gut verträglich, in der Praxis anwendbar und physiologisch sinnvoll zu sein.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15753735>



Critical Care Medicine, 2005, 33: S196–203

High-frequency oscillatory ventilation in adults: respiratory therapy issues

(Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen: Problematiken der Atemtherapie)

Higgins, J.; Estetter, B.; Holland, D.; Smith, B.; Derdak, S.

Parkland Health and Hospital System, Abteilung für Atemtherapie, Dallas, Texas, USA

ZIEL: Zusammenfassung der relevanten klinischen Daten und Bewertungsmethoden für Atemtherapeuten, die erwachsene Patienten unter Hochfrequenzbeatmung (HFOV) versorgen.

DATENQUELLE: Auswertung von Beobachtungsstudien, kontrollierten Studien, Kasuistiken, Erfahrungsberichten von medizinischen Zentren und HFOV-Leitlinien von Krankenhäusern für erwachsene Patienten.

ZUSAMMENFASSUNG DER DATEN: Atemtherapeuten müssen über besondere Kenntnisse zur Beurteilung des Zustands und zur Behandlung von Patienten unter HFOV verfügen. Für HFOV relevante atemtherapeutische Verfahren umfassen unter anderem das Einstellen von Leckagen der Tubusmanschette, die Durchführung von Rekrutierungsmanövern, endotracheales Absaugen und Überwachung der Ventilatorparameter. Atemtherapeuten sind unentbehrlich bei der Entwicklung und Umsetzung schriftlicher HFOV-Leitlinien (z. B. Algorithmen), um die Patientenversorgung zu optimieren.

FAZIT: Kenntnisse über Beurteilungsmethoden und Verfahren in der Atemtherapie sind unabdingbar, um eine optimale Versorgung erwachsener Patienten unter HFOV sicherzustellen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15753728>

Critical Care Medicine, 2005, 33: S142–7

High-frequency oscillatory ventilation: lessons learned from mechanical test lung models

(Die Hochfrequenzbeatmung: Lehrreiche Erfahrungen aus mechanischen Testlungenmodellen)

Van de Kieft, M.; Dorsey, D.; Morison, D.; Bravo, L.; Venticinque, S.; Derdak, S.
Abteilung für Pneumologie/Intensivmedizin, Wilford Hall Medical Center, Luftwaffenstützpunkt Lackland, Texas, USA

ZIEL: Auswertung der Daten, die unter Hochfrequenzbeatmung (HFOV) und aus mechanischen Testlungenmodellen hinsichtlich appliziertem Tidalvolumen, distaler Druckübertragung, Leckagen der Tubusmanschette und simulierten klinischen Bedingungen gewonnen wurden

DESIGN: Auswertung ausgewählter Studien von PubMed, veröffentlichten Abstracts und mechanischen Testlungendaten von medizinischen Zentren

ERGEBNISSE: Das während der HFOV applizierte Tidalvolumen wird durch die Oszillationsdruckamplitude (DeltaP), die Frequenz (Hz), die Inspirationszeit in Prozent (IT%) und Patientenvariablen verändert. Die distale (zur Carina hin) Übertragung der Oszillationsdruckamplitude ist direkt korreliert mit dem Tubusdurchmesser und dem peripheren Atemwegswiderstand. Leckagen der Tubusmanschette fördern den Austritt von Atemgas aus der Luftröhre und verringern gleichzeitig die distale Oszillationsdruckamplitude und Tidalvolumenübertragung. Simulierte klinische Bedingungen (z. B. erhöhter distaler Atemwegswiderstand, Intubation eines Hauptbronchus) können die beobachteten DeltaP-Werte erhöhen, während der mittlere Atemwegsdruck durch Luftleckagen verringert wird.

FAZIT: Simulationen an einer mechanischen Testlung und künstlichen Luftröhre können nützliche Informationen über den Einfluss veränderter Lungenmechanismen auf die HFOV liefern und zur Formulierung klinischer HFOV-Strategien herangezogen werden. Wesentliche Einschränkungen dieser Modelle ist das Fehlen eines Gasaustausches, histologischer und biologischer Marker sowie hämodynamischer Daten.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15753720>

Anesthesiology, 2003, 99: 1313–22

Setting mean airway pressure during high-frequency oscillatory ventilation according to the static pressure -volume curve in surfactant-deficient lung injury: a computed tomography study

(Titration des mittleren Atemwegsdrucks während der Hochfrequenzbeatmung gemäß der statischen Druck-Volumen-Kurve beim Lungenversagen mit Surfactant-Defizit: eine CT-Studie)

Lücke, T.; Meinhardt, J. P.; Herrmann, P.; Weisser, G.; Pelosi, P.; Quintel, M.

Institut für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin, Universitätsklinikum Mannheim, Medizinische Fakultät Mannheim, Universität Heidelberg, Deutschland

HINTERGRUND: Zahlreiche Studien empfehlen die Titration des positiven endexpiratorischen Drucks während der konventionellen Beatmung gemäß der statischen Druck-Volumen (PV)-Kurve. Es liegen jedoch nur wenige Daten zur Anpassung des mittleren Atemwegsdrucks (Paw) während der Hochfrequenzbeatmung (HFOV) vor. Ziele der vorliegenden Studie waren folgende: (1) Untersuchung der respiratorischen und hämodynamischen Effekte der Titration des Paw während der HFOV gemäß der statischen PV-Kurve, (2) Beurteilung der Wirkung einer Erhöhung bzw. Verringerung des Paw auf Schichtvolumen und Belüftungsmuster an Lungenapex und -basis mithilfe von Computertomografie und (3) Evaluierung der Eignung der PV-Kurve zur Titration des Paw durch einen Vergleich der CT-Ergebnisse während der HFOV mit den Ergebnissen, die während der Aufzeichnung der statischen PV-Kurve bei vergleichbaren Drücken gewonnen wurden. **METHODEN:** Sieben erwachsene Schweine wurden einer Lungenlavage mit Kochsalzlösung unterzogen. Bei jeder Volumenstufe wurden an Apex und Basis der Lunge mittels CT-Aufnahmen PV-Kurven ermittelt. Der untere Umschlagspunkt (Pflex) wurde bestimmt und die HFOV wurde mit einem Paw initiiert, der auf Pflex eingestellt war. Die Schweine wurden mit fünf HFOV-Zyklen zu je einer Stunde ventilert. Der Paw, der anfangs auf Pflex eingestellt war, wurde auf das 1,5-Fache des Pflex (bezeichnet als 1,5 Pflex(inc)) und 2 Pflex erhöht und anschließend wieder auf den 1,5-fachen Pflex und Pflex (bezeichnet als 1,5 Pflex(dec) und Pflex(dec)) verringert. Stündlich wurden Messungen der respiratorischen und hämodynamischen Variablen sowie CT-Scans an Apex und Basis durchgeführt. **ERGEBNISSE:** Durch die Hochfrequenzbeatmung mit einem Paw von 1,5 Pflex(inc) wurde die arterielle Sauerstoffspannung wieder auf die Werte vor dem Lungenversagen gebracht. Eine weitere Erhöhung des Paw bewirkte keine Veränderung in der Oxygenierung, führte jedoch zu einer Abnahme des Sauerstofftransports infolge eines reduzierten Herzzeitvolumens. Beim Vergleich der HFOV bei entsprechenden Paw-Werten während der Erhöhung und Verringerung des Paw wurden keine Unterschiede in Bezug auf die respiratorischen oder hämodynamischen Variablen festgestellt. Die Veränderung des Gesamtschicht-Lungenvolumens (total slice lung volume, TLVs) war wesentlich geringer, als gemäß der statischen PV-Kurve erwartet wurde. Das überdehnte Lungenvolumen war konstant und betrug weniger als 3 % des TLVs. Die TLVs-Werte während der HFOV bei Pflex, 1,5 Pflex(inc) und 2 Pflex waren signifikant höher als die TLVs-Werte bei entsprechenden Trachealdrücken im Inflationsabschnitt der statischen PV-Kurve und lagen in der Nähe des Deflationsabschnitts. Im Gegensatz dazu waren die TLVs-Werte während der HFOV bei Verringerung des Paw (d. h. 1,5 Pflex(dec) und Pflex(dec)) nicht signifikant höher als die entsprechenden TLVs-Werte im Deflationsabschnitt der statischen PV-Kurve. Die ausgeprägte Hysterese, die während der Aufzeichnung der PV-Kurven beobachtet wurde, trat während der HFOV nicht auf. **FAZIT:** Die Hochfrequenzbeatmung mit einem gemäß einer statischen PV-Kurve titrierten Paw bewirkt eine effektive Lungenrekrutierung. Die Schicht-Lungenvolumen während der HFOV entsprechen denen aus dem Deflationsabschnitt der statischen PV-Kurve bei äquivalentem Drücken.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14639143>

Critical Care Medicine, 2003, 31: 227–31

Determinants of tidal volume during high-frequency oscillation (Bestimmungsgrößen für das Tidalvolumen während der Hochfrequenzbeatmung)

Sedeek, K. A.; Takeuchi, M.; Suchodolski, K.; Kacmarek, R. M.
Abteilung für Anästhesie/Atemtherapie, Massachusetts General Hospital und Harvard Medical School,
Boston, USA

ZIEL: Bei Erwachsenen mit akutem progressivem Lungenversagen wird die Anwendung der Hochfrequenzbeatmung vorgeschlagen. Es liegen jedoch nur wenige Daten über die Wirkung der Druckamplitude und Frequenz (Hz) auf die während der Hochfrequenzbeatmung bei Erwachsenen applizierten Tidalvolumen vor.

DESIGN: Prospektive Studie des Lungenversagens am Tiermodell

UMGEBUNG: Großtierlabor eines universitären medizinischen Zentrums

PROBANDEN: Neun Schafe (29,2 +/-2,4 kg)

INTERVENTIONEN: Durch wiederholte Lungenlavage mit Kochsalzlösung wurde ein schweres Lungenversagen induziert. Nach der Stabilisierung wurde die Hochfrequenzbeatmung initiiert. Dabei wurde ein mittlerer Atemwegsdruck verwendet, der dem höchsten Kurvenpunkt im Deflationsabschnitt der Druck-Volumen-Kurve entsprach (26 +/-1,9 cm H₂O). Das Tidalvolumen wurde bei allen Kombinationen der verschiedenen Frequenzen (4, 6, 8 und 10 Hz), Druckamplituden (30, 40, 50 und 60 cm H₂O) und Atemzeitverhältnissen (1:1 und 1:2) gemessen (mithilfe des Hochfrequenzbeatmungsgeräts Sensormedics 3100B). Die Flussmessung wurde mit einem Pneumotachographen, verstärkt und digitalisiert bei 1000 Hz, vorgenommen. Bei jeder Einstellung wurden drei Atemzüge analysiert.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Bei beiden Atemzeitverhältnissen verhielt sich das Tidalvolumen direkt proportional zur Druckamplitude und umgekehrt proportional zur Frequenz. Bei einem Atemzeitverhältnis von 1:1, einer Druckamplitude von 60 cm H₂O und einer Frequenz von 4 Hz wurde ein Tidalvolumen von 129,1 +/-34,8 ml (4,4 +/-1,2 ml/kg) appliziert.

FAZIT: Bei Verwendung niedriger Frequenzen und hoher Druckamplituden in diesem Modell können während der Hochfrequenzbeatmung Tidalvolumen appliziert werden, die an die der konventionellen mechanischen Beatmung heranreichen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12545020>

Critical Care Clinics, 2002, 18: 91–106

New therapies for adults with acute lung injury. High-frequency oscillatory ventilation

(Neue Therapien für Erwachsene mit akutem Lungenversagen: Hochfrequenzbeatmung)

Ferguson, N. D.; Stewart, T. E.

Fachbereich Medizin, Abteilung für Atemheilkunde, Critical Care Medicine Programme, Mount Sinai Hospital, Universität Toronto, Toronto, Ontario, Kanada

Die Hochfrequenzbeatmung scheint sich in der Theorie ideal zur Behandlung von Patienten mit ARDS zu eignen – sie ermöglicht die Aufrechterhaltung einer adäquaten Oxygenierung und Belüftung, ohne die bereits verletzte Lunge weiter zu schädigen. Die Hochfrequenzbeatmung scheint auch eine sinnvolle Strategie zur Verbesserung der Oxygenierung bei Patienten zu sein, die auf eine konventionelle mechanische Beatmung nicht mehr ansprechen. Derzeit sollte HFOV auf der Erwachsenen-Intensivstation als eine von vielen Zusatztherapien angewendet werden, die zur Behandlung schwerst kranker, hypoxämischer Patienten mit ARDS zur Verfügung stehen. Weitere Forschungen können die HFOV als Standardstrategie zur Vermeidung beatmungsassoziierter Lungenschäden etablieren.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11910735>

Critical Care, 2002, 6: 183–5

Pro/con clinical debate: is high-frequency oscillatory ventilation useful in the management of adult patients with respiratory failure?

(Diskussion der klinischen Vor- und Nachteile: Welchen Nutzen hat die Hochfrequenzbeatmung zum Management erwachsener Patienten mit respiratorischer Insuffizienz?)

Singh, J. M.; Mehta, S.; Kacmarek, R. M.
Abteilung für Medizin, Mount Sinai Hospital, Toronto, Kanada

Auf Neugeborenen- und Kinder-Intensivstationen hat sich die Hochfrequenzbeatmung (HFOV) mittlerweile als Standardtherapie etabliert. Dies wäre möglicherweise nicht der Fall gewesen, wenn Wissenschaftler nach ersten enttäuschenden klinischen Studien diese Therapieform nicht weiter erforscht hätten. Seit kurzem sind Geräte im Handel erhältlich, mit denen diese Therapie bei Erwachsenen angewendet werden kann. Es gibt jedoch zahlreiche Fragen in Bezug auf die HFOV bei Erwachsenen, die noch beantwortet werden müssen: Ist die HFOV bei Erwachsenen der konventionellen mechanischen Beatmung überlegen? Wer ist der ideale Kandidat für HFOV? Wann sollte sie eingesetzt werden? Welche ist die beste Technik für ihre Anwendung? Wann sollte ein Patient von HFOV wieder auf konventionelle Beatmung umgestellt werden? Wie verhält es sich mit der Sicherheit und Wirksamkeit des Geräts? Wie in nachstehender Diskussion aufgezeigt wird, gibt es mehrere überzeugende Argumente, die für und gegen die Anwendung der HFOV bei Erwachsenen zu diesem Zeitpunkt sprechen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12133172>

4. VISION α [®] HFOV

4.5. Schädel-Hirn-Trauma

Acta Anaesthesiologica Scandinavica, 2005, 49: 209–14

High-frequency oscillatory ventilation in adults with traumatic brain injury and acute respiratory distress syndrome

(Hochfrequenzbeatmung bei Patienten mit Schädel-Hirn-Trauma und akutem progressivem Lungenversagen)

David M.; Karmrodt, J.; Weiler, N.; Scholz, A.; Markstaller, K.; Eberle, B.

Klinik für Anästhesiologie, Klinikum der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz, Mainz, Deutschland

HINTERGRUND: In dieser Studie wurden unerwünschte Ereignisse der Rescue-Behandlung mit Hochfrequenzbeatmung (HFOV) bei Patienten mit Kopfverletzungen und akutem progressivem Lungenversagen (ARDS) beobachtet.

METHODEN: Die Daten von fünf männlichen Patienten mit ARDS und Schädel-Hirn-Trauma, Medianalter 28 Jahre, die auf eine konventionelle druckkontrollierte Beatmung (PCV) nicht ansprachen, wurden retrospektiv während der HFOV analysiert. Der angepasste mittlere Atemwegsdruck wurde bei Initiierung der HFOV auf 5 cm H₂O über dem zuletzt während der PCV gemessenen mittleren Atemwegsdruck eingestellt. Es wurden die Häufigkeit einer pulmonalen Luftleckage, Schleimobstruktion und Trachealverletzung sowie der Notwendigkeit eines Abbruchs der HFOV aufgrund eines erhöhten intrakraniellen Drucks, verringerten zerebralen Perfusionsdrucks oder Verschlechterung des paCO₂ analysiert.

ERGEBNISSE: Während der HFOV wurden keine Komplikationen beobachtet. 390 Datensätze zu intrakraniellm Druck, zerebralem Perfusionsdruck und paCO₂ wurden gleichzeitig erfasst. Der intrakranielle Druck erhöhte sich (> 25 mm Hg) bei elf der 390 Datensätze, der zerebrale Perfusionsdruck verringerte sich (< 70 mm Hg) bei 66 der 390 Datensätze und paCO₂-Schwankungen (< 4,7 kPa; > 6,0 kPa) wurden bei acht der 390 Datensätze nach Initiierung der HFOV beobachtet. Alle diese Veränderungen wurden durch die Behandlung beeinflusst. Der paO₂/FiO₂-Quotient verbesserte sich unter HFOV bei vier Patienten.

FAZIT: Die Hochfrequenzbeatmung scheint eine viel versprechende alternative Rescue-Behandlung für Patienten mit Kopfverletzungen und ARDS darzustellen, insbesondere während der Initiierung der HFOV. Jedoch ist eine kontinuierliche Überwachung des intrakraniellen Drucks, zerebralen Perfusionsdrucks und paCO₂ sicherzustellen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15715623>

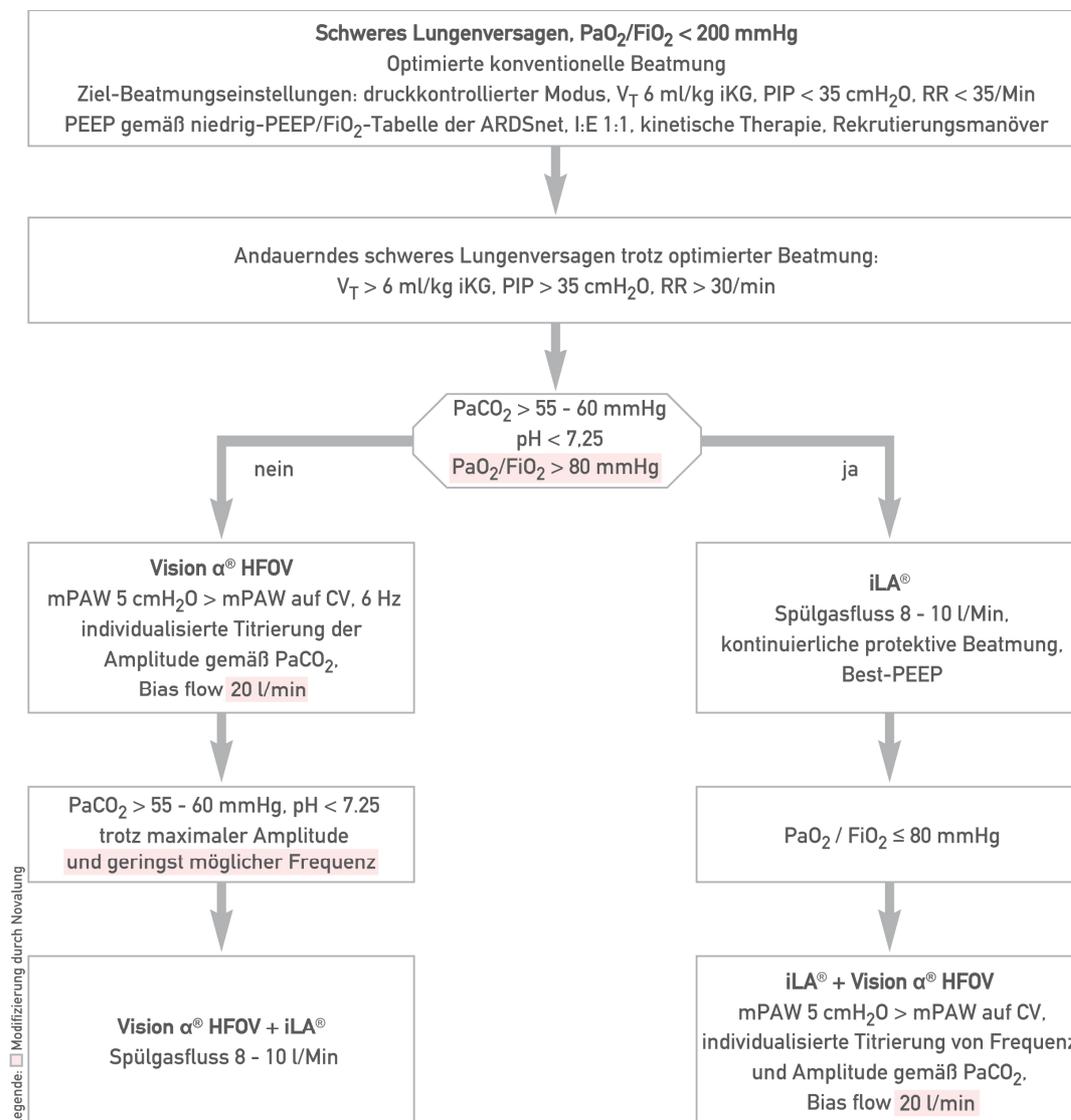
5. ALGORITHMEN

Journal of Critical Care, 2010, DOI:10.1016/j.jcrc.2009.11.004

Combination of high frequency oscillatory ventilation and interventional lung assist in severe acute respiratory distress syndrome *(Kombination von Hochfrequenzbeatmung und interventioneller Lungenunterstützung beim schweren akuten progressiven Lungenversagen)*

Modifiziert nach Lubnow, M. et al.

ALGORITHMUS ARDS: KOMBINATION VON VISION α [®] HFOV UND iLA[®]



Modifiziert nach Lubnow et al., Journal of Critical Care
2010; doi:10.1016/j.jcrc.2009.11.004

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20074908>

The Journal of International Medical Research, 2008, 36: 211–221

Evidence-based Therapy of Severe Acute Respiratory Distress Syndrome: an Algorithm-guided Approach

(Evidenzbasierte Therapie des schweren akuten progressiven Lungenversagens: ein algorithmusgestützter Ansatz)

Deja, M.; Hommel, M.; Weber-Carstens, S.; Moss, M.; von Dossow, V.; Sander, M.; Pille, C.; Spiess C.

Trotz erheblicher Forschung und der Entwicklung ständig neuer Behandlungsmodalitäten ist die mit dem akuten progressiven Lungenversagen (ARDS) assoziierte Mortalität in den letzten zehn Jahren so gut wie unverändert geblieben. Klinische Studien konnten für die meisten therapeutischen Interventionen, mit Ausnahme der Beatmung mit niedrigem Tidalvolumen, keine Abnahme der Mortalität zeigen. Die Unfähigkeit, einen Mortalitätsvorteil nachzuweisen, könnte in den unterschiedlichen Schweregraden der ARDS bei den untersuchten Patienten begründet liegen. In mehreren Studien wurde jedoch ein positives Ansprechen auf einzelne unterstützende Maßnahmen (inhalatives Stickstoffmonoxid, Positionierung in Bauchlage und extrakorporale Membranoxygenierung) nachgewiesen.

Kriterien für Anwendung, Entwöhnung und Beendigung wurden bisher noch nie im Detail beschrieben. In diesem Zusammenhang könnte die Implementierung eines evidenzbasierten Algorithmus das klinische Management des schweren ARDS erleichtern. Dieser Bericht gibt eine Übersicht über die aktuelle Evidenzgrundlage und schlägt einen neuen Behandlungsalgorithmus vor, der zum Ziel hat, Priorität auf die Anwendung fortschrittlicher Strategien in einem multimodalen Ansatz für ARDS zu setzen.

ALGORITHMUS ARDS: DIE ERSTEN 24 STUNDEN NACH ICU AUFNAHME

IM VERLAUF (AB TAG 2)

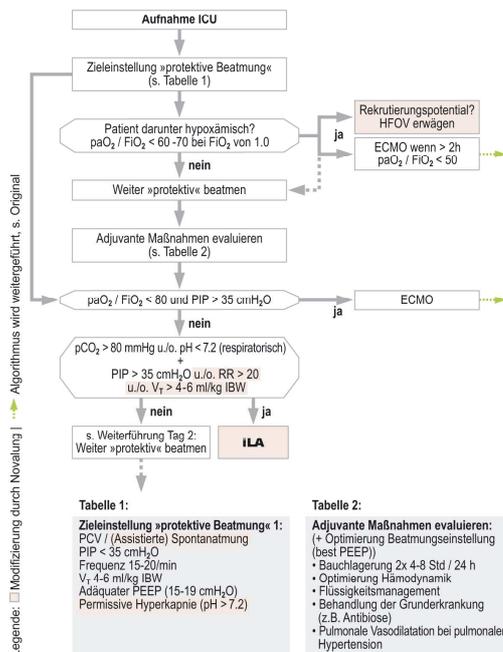


Tabelle 1:
Zieleinstellung »protektive Beatmung« 1:
PCV / (Assistierte) Spontanatmung
PIP < 35 cmH₂O
Frequenz 15-20/min
V_t 4-6 ml/kg IBW
Adäquater PEEP (15-19 cmH₂O)
Permissive Hyperkapnie (pH > 7.2)

Tabelle 2:
Adjuvante Maßnahmen evaluieren:
(+ Optimierung Beatmungseinstellung (best PEEP))
• Bauchlagerung 2x 4-8 Std / 24 h
• Optimierung Hämodynamik
• Flüssigkeitsmanagement
• Behandlung der Grunderkrankung (z.B. Antibiose)
• Pulmonale Vasodilatation bei pulmonaler Hypertension

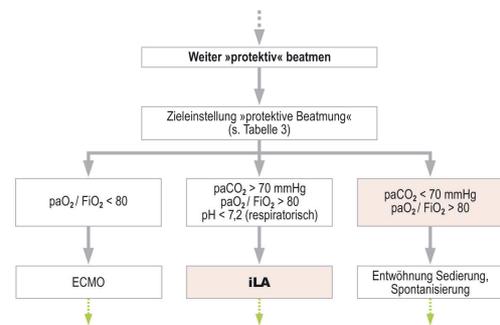


Tabelle 3:
Zieleinstellung »protektive Beatmung« 2:
(Assistierte) Spontanatmung (5/min)
PIP < 32 cmH₂O
Druckamplitude 16 cmH₂O
Frequenz 12-16/min
V_t 4-6 ml/kg IBW
Adäquater PEEP (10-14 cmH₂O)

Mod. u. stark vereinfacht nach Deja et al., Evidence-based Therapy of Severe Acute Respiratory Distress Syndrome: an Algorithm-guided Approach, The Journal of International Medical Research, Volume 36, Number 2, March 2008, pp. 211-221(11)

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18380929>

Anaesthesist, 2008, 57 (11): 1091–102

Nichtinvasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz. Das Wichtigste der neuen S3-Leitlinie

Schönhofer, B.; Kuhlen, R.; Neumann, P.; Westhoff, M.; Berndt, C.; Sitter, H.
Abteilung für Pneumologie und internistische Intensivmedizin, Krankenhaus Oststadt-Heidehaus, Klinikum Region Hannover, Deutschland

HINTERGRUND: Der zunehmende Stellenwert der nichtinvasiven Beatmung (NIV) in der Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz (ARI) ist durch klinische Studien untermauert. Eine neue S3-Leitlinie macht das evidenzbasierte Wissen über Indikationen und Grenzen der NIV bei ARI in der Praxis verfügbar.

METHODEN: An der Entwicklung der Leitlinie beteiligten sich 28 Experten aus 12 medizinischen Fachgesellschaften. Zirka 2900 Veröffentlichungen wurden systematisch analysiert. In 2 Konsensuskonferenzen wurden die Kernaussagen verabschiedet.

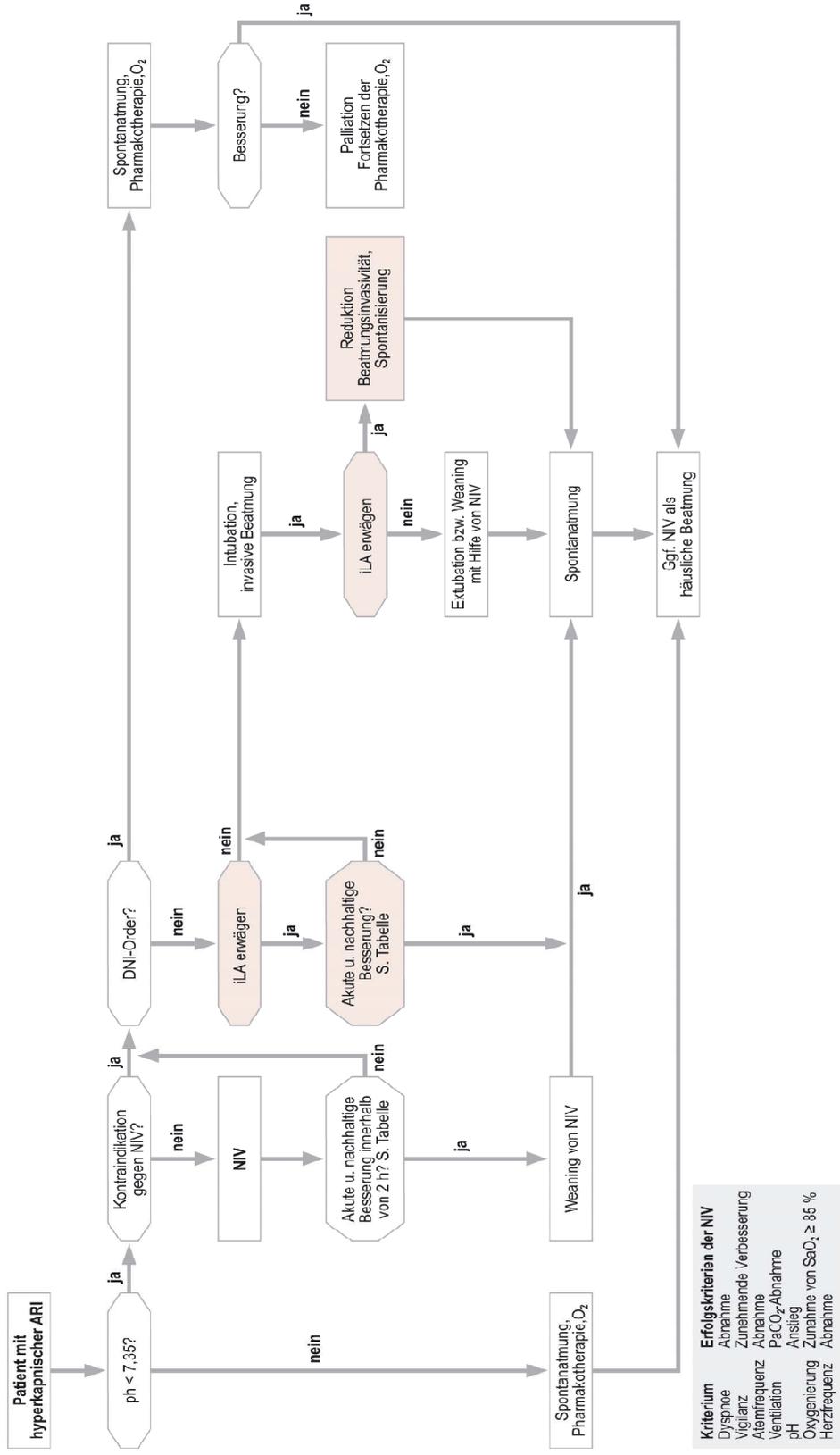
ERGEBNISSE: Bei hyperkapnischer ARI verkürzt NIV die Aufenthaltsdauer und verringert die Letalitätsrate auf der Intensivstation [Empfehlungsgrad A (A)]. Patienten mit kardialen Lungenödem sollten mit NIV (bzw. „continuous positive airway pressure“, CPAP) behandelt werden (A). Bei immunsupprimierten Patienten mit ARI senkt NIV die Letalitätsrate (A). In der Postextubationsphase und im „weaning“ bei hyperkapnischer ARI senkt NIV das Risiko der Reintubation (A). Patienten, die eine Intubation ablehnen, können mit NIV behandelt werden (B). In der Pädiatrie wird NIV bei verschiedenen Indikationen eingesetzt (C). Bei Patienten mit „acute respiratory distress syndrome“ (ARDS) ist NIV wegen der hohen Misserfolgsrate nicht generell zu empfehlen.

FAZIT: Noch ist die NIV in der Akutmedizin nicht so fest verankert, wie es aufgrund der wissenschaftlichen Evidenz zu erwarten wäre. Diese Leitlinie soll dazu beitragen, die NIV als Therapie der ARI breiter zu etablieren.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18989651>

ALGORITHMUS ARI / COPD: NICHT-INVASIVE BEATMUNG BEI ARI / COPD

Mod. nach S3-Leitlinie Nicht-invasive Beatmung als Therapie der akuten respiratorischen Insuffizienz. Deutsche Gesellschaft für Pneumologie und Beatmungsmedizin e. V., 2008



Kriterium

- Dyspnoe
- Vigilanz
- Atemfrequenz
- Ventilation
- pH
- Oxygenierung
- Herzfrequenz

Erfolgskriterien der NIV

- Abnahme
- Zunehmende Verbesserung
- Abnahme
- Abnahme
- Ansieg
- Zunahme von SaO₂ ≥ 35 %
- Abnahme

Legende: □ Modifizierung durch Novalung



6. MECHANISCHE BEATMUNG

Lancet, 2010, 375: 475–80

A protocol of no sedation for critically ill patients receiving mechanical ventilation: a randomised trial

(Ein Protokoll ohne Sedierung für schwer kranke Patienten unter mechanischer Beatmung: eine randomisierte Studie)

Strøm, T.; Martinussen, T.; Toft, P.

Dänische Gesellschaft für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Danielsen-Stiftung, Kirsten Jensa la Cour-Stiftung und Holger og Ruth Hess-Stiftung

HINTERGRUND: Der Therapiestandard für schwer kranke Intensivpatienten unter mechanischer Beatmung sieht eine kontinuierliche Sedierung vor. Von Nutzen ist dabei die tägliche Unterbrechung der Sedierung. Auf der Intensivstation des Universitätsklinikums von Odense/Dänemark sieht die Standardtherapie ein Behandlungsprotokoll ohne Sedierung vor. In dieser Studie soll untersucht werden, ob ein Protokoll ohne Sedierung im Vergleich zur täglichen Unterbrechung der Sedierung die Dauer der mechanischen Beatmung verkürzen kann.

METHODEN: Von 428 auf ihre Eignung untersuchten Patienten wurden 140 schwer kranke Patienten unter mechanischer Beatmung, bei denen die Beatmung voraussichtlich für weitere 24 Stunden benötigt wurde, in die Studie eingeschrieben. Die Patienten wurden im Verhältnis 1:1 (nicht verblindet) entweder zu einem Vorfahren ohne Sedierung (n = 70) oder zu einem Verfahren mit Sedierung (20 mg/ml Propofol über 48 Stunden, danach 1 mg/ml Midazolam) mit täglicher Unterbrechung bis zum Erwachen (n = 70, Kontrollgruppe) randomisiert. Beide Gruppen wurden mit einem Morphinbolus behandelt (2,5 oder 5 mg). Der primäre Zielparameter war die Anzahl der Tage ohne mechanische Beatmung in einem 28-Tage-Zeitraum, es wurden außerdem die Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation (von der Aufnahme bis Tag 28) und die Dauer des Klinikaufenthalts (von der Aufnahme bis Tag 90) gemessen. Es wurde eine Intention-to-treat-Analyse durchgeführt. Diese Studie ist bei ClinicalTrials.gov unter der Nummer NCT00466492 registriert.

ERGEBNISSE: 27 Patienten verstarben oder wurden innerhalb der ersten 48 Stunden erfolgreich extubiert. Sie wurden gemäß Studiendesign aus der Studie und der statistischen Analyse ausgeschlossen. Patienten ohne Sedierung hatten signifikant mehr Tage ohne Beatmung (n = 55; Mittelwert 13,8 Tage; SD 11,0) als diejenigen, die eine unterbrochene Sedierung erhielten (n = 58, Mittelwert 9,6 Tage; SD 10,0; mittlere Differenz 4,2 Tage; 95 % KI 0,3–8,1; p = 0,0191). Das Verfahren ohne Sedierung war außerdem mit einem kürzeren Aufenthalt auf der Intensivstation (HR 1,86; 95 % KI 1,05–3,23; p = 0,0316) und in den ersten 30 Beobachtungstagen auch mit einem kürzeren Klinikaufenthalt (3,57; 1,52–9,09; p = 0,0039) assoziiert als das Verfahren mit unterbrochener Sedierung. Es gab keine Unterschiede hinsichtlich des Auftretens plötzlicher Extubationen, dem Einsatz von Computertomografie oder Kernspintomografie des Gehirns oder einer beatmungsassoziierten Lungenentzündung. Das agitierte Delirium trat in der nicht sedierten Gruppe häufiger auf als in der Kontrollgruppe (n = 11, 20 % vs. n = 4, 7 %; p = 0,0400).

INTERPRETATION: Ein Behandlungsprotokoll ohne Sedierung ist bei schwer kranken Intensivpatienten unter mechanischer Beatmung assoziiert mit einem Anstieg der Tage ohne Beatmung. Eine multizentrische Studie sollte abgeschlossen werden, um zu untersuchen, ob dies auch in anderen Einrichtungen reproduzierbar ist.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20116842>

Critical Care Medicine, 2009, 37: 2953–61

Infection-induced lung injury is worsened after renal buffering of hypercapnic acidosis

(Das durch Infektion induzierte Lungenversagen verschlechtert sich nach renaler Pufferung der hyperkapnischen Azidose)

Nichol, A. D.; O’Cronin, D. F.; Howell, K.; Naughton, F.; O’Brien, S.; Boylan, J.; O’Connor, C.; O’Toole, D.; Laffey, J. G.; McLoughlin, P.

Fakultät für Medizin und Medizinwissenschaften, Conway Institute, University College Dublin, Irland

ZIEL: Während der Behandlung des akuten progressiven Lungenversagens und akuten Lungenversagens unterschiedlicher Genesen mit protektiven Beatmungsstrategien kommt es häufig zu einer ausgedehnten Hyperkapnie. Unter diesen Umständen lässt sich der pH durch kompensatorische renale Pufferung normalisieren und so ein Zustand der gepufferten Hyperkapnie herstellen. Ein weiteres Standardverfahren in der Intensivmedizin sind Bicarbonatinfusionen, die eine raschere Korrektur des pH bewirken. Es ist zwar allgemein bekannt, dass eine hyperkapnische Azidose potente entzündungshemmende und protektive Effekte hat, es ist jedoch nicht bekannt, welche Wirkung eine gepufferte Hyperkapnie auf das akute Lungenversagen und das akute progressive Lungenversagen hat. Ziel ist es daher, die Wirkungen der gepufferten Hyperkapnie auf das akute Lungenversagen, das in vivo durch eine Endotoxin- oder Escherichia coli-Infektion induziert wurde, zu bestimmen.

DESIGN: Prospektive, randomisierte, tierexperimentelle Studie.

UMGEBUNG: Universitäts eigenes Forschungslabor.

PROBANDEN: Erwachsene männliche Sprague-Dawley-Ratten.

INTERVENTIONEN: Bei Ratten wurde eine gepufferte Hyperkapnie hergestellt, indem diese drei Tage lang hyperkapnischen Bedingungen ausgesetzt wurden. Anschließend wurde das Lungenversagen induziert. Die Ratten mit gepuffertem Hyperkapnie (Anfangs-pH > 7,35, FiCO₂ = 0,05) und normokapnische Kontrolltiere (Anfangs-pH > 7,35, FiCO₂ = 0,00) wurden dann narkotisiert, mechanisch ventiliert und einer intratrachealen Inokulation mit Endotoxin (Reihe I) oder Escherichia coli (Reihe II) unterzogen, um ein Lungenversagen zu induzieren.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Die gepufferte Hyperkapnie verstärkte sowohl das durch Endotoxin als auch das durch E. coli induzierte Lungenversagen im Vergleich zu den normokapnischen Kontrolltieren. Als Vergleichswerte wurden hierzu die arterielle Oxygenierung, Lungen-Compliance, pulmonale Konzentration entzündungsfördernder Zytokine sowie Messungen der strukturellen Lungenschädigung herangezogen. In zusätzlich durchgeführten In-vitro-Versuchen hatte eine gepufferte Hyperkapnie keine Wirkung auf die Phagozytosefähigkeit der Neutrophilen, beeinträchtigte jedoch die Wundheilung des Epithels.

FAZIT: Die Ergebnisse zeigen, dass sich ein in vivo durch Infektion induziertes Lungenversagen nach renaler Pufferung der hyperkapnischen Azidose verschlechtert, und zwar unabhängig von Veränderungen des Tidalvolumens. Diese Ergebnisse haben bedeutende Implikationen für unser Verständnis der Pathogenese des durch Infektion induzierten Lungenversagens während der Anwendung protektiver Beatmungsstrategien, die eine gepufferte Hyperkapnie zulassen, sowie während infektiöser Exazerbationen chronischer Lungenkrankheiten, die mit ausgedehnter Hyperkapnie assoziiert sind.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19773647>

The New England Journal of Medicine, 2008, 358: 1327–35

Rapid Disuse Atrophy of Diaphragm Fibers in Mechanically Ventilated Humans

(Inaktivitätsatrophie der Zwerchfell-Muskelfasern als sehr frühe Folge der mechanischen Beatmung beim Menschen)

Levine, S.; Nguyen, T.; Taylor, N.; Friscia, M. E.; Budak, M. T.; Rothenberg, P.; Zhu, P.; Sachdeva, R.; Sonnad, S.; Kaiser, L. R.; Rubinstein, N. A.

HINTERGRUND: Die Kombination von vollständiger Zwerchfellinaktivität und mechanischer Beatmung (über mehr als 18 Stunden hinweg) führt zu einer Inaktivitätsatrophie der Muskelfasern beim Tier. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich dieser Effekt auch beim menschlichen Zwerchfell vollzieht.

METHODEN: Es wurden Biopsate aus dem Rippenteil des Zwerchfells von 14 hirntoten Organspendern vor Entnahme der Organe (Studienprobanden) entnommen und mit intraoperativ gewonnenen Biopsaten aus dem Zwerchfell von acht Patienten verglichen, die einer Operation wegen entweder gutartiger Läsionen oder eines lokalisierten Lungenkarzinoms unterzogen wurden (Kontrollprobanden). Die Studienprobanden wiesen eine Zwerchfellinaktivität auf und sie wurden 18 bis 69 Stunden lang mechanisch beatmet. Bei den Kontrollprobanden waren Zwerchfellinaktivität und mechanische Beatmung auf zwei bis drei Stunden beschränkt. Die Biopsate wurden histologisch, biochemisch und molekularbiologisch untersucht.

ERGEBNISSE: Im Vergleich zu den Zwerchfellbiopsaten der Kontrollprobanden war bei den Biopsaten der Studienprobanden eine Verringerung der Querschnittsfläche roter und weißer Muskelfasern um 57 % ($p = 0,001$) bzw. 53 % ($p = 0,01$) festzustellen. Darüber hinaus war die Glutathionkonzentration um 23 % ($p = 0,01$) verringert, die Expression aktivierter Caspase 3 um 100 % ($p = 0,05$) erhöht, das Verhältnis von Messenger-RNA (mRNA)-Transkripten von Atrogin-1 zu *MBD4* (einem Housekeeping-Gen) um 200 % höher ($p = 0,002$) und das Verhältnis von mRNA-Transkripten von MuRF-1 zu *MBD4* um 590 % höher ($p = 0,001$).

FAZIT: Die Kombination von einer 18 bis 69 Stunden andauernden Inaktivität des Zwerchfells und mechanischer Beatmung führt beim Menschen zu einer messbaren Atrophie diaphragmaler Muskelfasern. Diese Ergebnisse decken sich mit der gesteigerten Proteolyse im Zwerchfell während der Inaktivität.

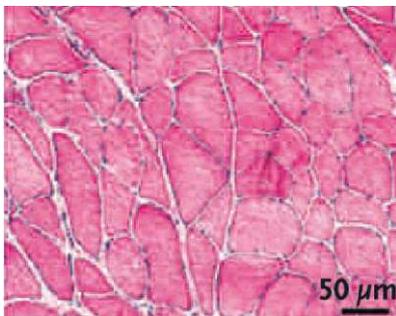


Abbildung 1: Muskelzellen nach Beatmung ≤ 3 Stunden

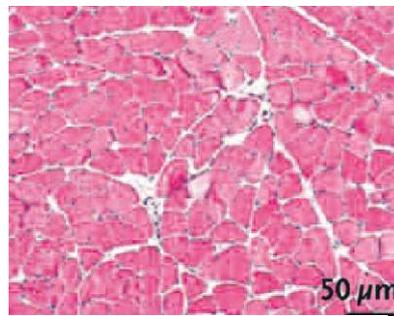


Abbildung 2: Muskelzellen nach Beatmung >

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18367735>

Critical Care Medicine, 2008, 36: 2128–35

Sustained hypercapnic acidosis during pulmonary infection increases bacterial load and worsens lung injury

(Durch eine lang anhaltende hyperkapnische Azidose bei Lungeninfektion erhöht sich die Keimzahl und verstärkt sich das Lungenversagen)

O'Croinin, D. F.; Nichol, A. D.; Hopkins, N.; Boylan, J.; O'Brien, S.; O'Connor, C.; Laffey, J. G.; McLoughlin, P.

Fakultät für Medizin und Medizinwissenschaften, Conway Institute, University College Dublin, Irland

ZIEL: Eine hyperkapnische Azidose wird bei Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen während der Anwendung protektiver Beatmungsstrategien im Allgemeinen zugelassen. Hyperkapnische Azidose ist auch eine häufige Komplikation zahlreicher Lungenerkrankungen und ist assoziiert mit einer schlechten Prognose, auch wenn die Mechanismen, anhand derer sie zu einer erhöhten Mortalität führt, nicht bekannt sind. Frühere Studien an nicht infektiösen Modellen des Lungenversagens zeigen, dass eine akute (< 6 Stunden) hyperkapnische Azidose eine entzündungshemmende Wirkung hatte und die Lungenschädigung verringerte. Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass diese entzündungshemmende Wirkung in vivo bei Vorliegen einer unbehandelten bakteriellen Infektion und lang anhaltenden Hyperkapnie (> 48 Stunden) schädlich wäre. Sollte das Bakterienwachstum hingegen mittels Antibiotikatherapie kontrolliert werden, würde sich die entzündungshemmende Wirkung der hyperkapnischen Azidose nicht mehr als schädlich erweisen.

DESIGN: Prospektive, randomisierte, tierexperimentelle Studie.

UMGEBUNG: Universitäts eigenes Forschungslabor.

PROBANDEN: Erwachsene männliche Wistar-Kyoto-Ratten.

INTERVENTIONEN: Nach intratrachealer Inokulation mit *Escherichia coli* unter Vollnarkose wurden die Ratten für zwei Tage unter normokapnischen (21 % O₂, 0 % CO₂) oder hyperkapnischen (21 % O₂, 5 % CO₂) Bedingungen gehalten. Die Ratten wurden dann zur Untersuchung physiologischer und quantitativ-stereologischer Kennwerte der Lungenschädigung, quantitativer Keimzahlen und der neutrophilen Phagozytose erneut narkotisiert.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Die hyperkapnische Azidose war mit höheren Keimzahlen in der Lunge, größeren strukturellen Schäden und einer geringeren statischen Lungen-Compliance assoziiert als die Normokapnie. Aus hyperkapnischen Ratten isolierte Neutrophile wiesen eine eingeschränkte Phagozytosefähigkeit auf. Bei einer weiteren, separaten Versuchsreihe, bei der die Ratten mit Antibiotika behandelt wurden, gab es keinen Unterschied hinsichtlich der Lungenschädigung zwischen der normokapnischen Gruppe und der Gruppe mit hyperkapnischer Azidose.

FAZIT: Eine lang anhaltende hyperkapnische Azidose führte zu einer Verschlechterung des durch bakterielle Infektion induzierten Lungenversagens. Die Ergebnisse deuten auf eine immunsuppressive Wirkung der hyperkapnischen Azidose hin. Dies hat bedeutende Implikationen für protektive Beatmungsstrategien, die eine hyperkapnische Azidose bei Patienten mit akutem progressivem Lungenversagen zulassen, sowie für das Management der hyperkapnischen Azidose während infektiöser Exazerbationen der chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung und anderer Lungenerkrankungen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18552698>

American Journal of the Respiratory Critical Care Medicine, 2007, 175: 160–6

Tidal hyperinflation during low tidal volume ventilation in acute respiratory distress syndrome

(Tidale Hyperinflation während der Beatmung mit niedrigem Tidalvolumen beim akuten progressiven Lungenversagen)

Terragni, P. P.; Rosboch, G.; Tealdi, A.; Corno, E.; Menaldo, E.; Davini, O.; Gandini, G.; Herrmann, P.; Mascia, L.; Quintel, M.; Slutsky, A. S.; Gattinoni, L.; Ranieri, V. M.

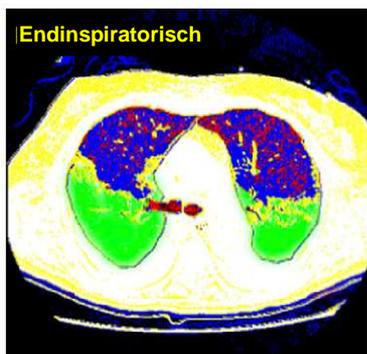
Abteilung für Anästhesiologie und Intensivmedizin, Universität Turin, San Giovanni Battista Molinette-Krankenhaus, Turin, Italien

HINTERGRUND: Eine Beschränkung des Tidalvolumens und Plateaudrucks reduziert die Mortalität beim akuten progressiven Lungenversagen. Die Computertomografie zeigte ein kleines, normal belüftetes Lungenareal oberhalb von minder- oder nicht belüfteten Lungenarealen, die möglicherweise durch Tidalinflation überbläht werden.

ZIELE: Es wurde die Hypothese aufgestellt, dass Patienten mit einem größeren nicht belüfteten Lungenareal trotz Beschränkung des Tidalvolumens und Plateaudrucks einer Hyperinflation des normal belüfteten Areal ausgesetzt sind.

MESSUNGEN UND HAUPTERGEBNISSE: Bei 30 Patienten, die mit einem niedrigen Tidalvolumen beatmet wurden (6 ml/kg vorgesagtem Körpergewicht) wurde bei Endexpiration und Endinspiration ein Lungen-CT angefertigt. Cluster-Analysen identifizierten 20 Patienten, bei denen eine Tidalinflation überwiegend im normal belüfteten Areal (69,9 +/-6,9 %; „besser geschützt“) auftrat, und 10 Patienten, bei denen eine Tidalinflation überwiegend in den überblähten Arealen (63,0 +/-12,7 %; „weniger geschützt“) auftrat. Bei den besser geschützten Patienten war das nicht belüftete Areal kleiner und das normal belüftete Areal größer als bei den weniger geschützten Patienten (p = 0,01). Die Konzentration an pulmonalen Zytokinen war bei den besser geschützten Patienten niedriger als bei den weniger geschützten Patienten (p < 0,05). Die besser geschützten Patienten hatten 7 +/-8 und die weniger geschützten Patienten 1 +/-2 beatmungsfreie Tage (p = 0,01). Der Plateaudruck betrug zwischen 25 und 26 cm H₂O bei den besser geschützten Patienten und zwischen 28 und 30 cm H₂O bei den weniger geschützten Patienten (p = 0,006).

FAZIT: Eine Beschränkung des Tidalvolumens auf 6 ml/kg vorhergesagtem Körpergewicht und des Plateaudrucks auf 30 cm H₂O ist bei Patienten mit einem größeren nicht belüfteten Areal möglicherweise nicht ausreichend.



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17038660>

American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 2002, 166: 1515–7

Meta-analysis of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome trials

(Metaanalyse von Studien zum akuten Lungenversagen und akuten progressiven Lungenversagen)

Brower, R. G.; Matthay, M.; Schoenfeld, D.

Mitglieder der US-Behörde „National Institutes of Health“ aus dem Fachbereich für Akutes Lungenversagen unterzogen den Artikel „Meta-analysis of acute lung injury and acute respiratory distress syndrome trials testing low tidal volumes“ (Metaanalyse von Studien zum akuten Lungenversagen und akuten progressiven Lungenversagen mit Prüfung geringer Tidalvolumen) von Eichacker und Kollegen, der im *AJRCCM* veröffentlicht wurde (1), einer genauen Prüfung. Brower et al. halten die Analyse für fehlerhaft und die Schlussfolgerungen für falsch, da Eichacker und Kollegen den Standpunkt vertreten, dass die Beatmung mit niedrigen Tidalvolumen schädlich sei. Diese Meinung fußt auf der Beobachtung, dass sich in den drei Studien mit negativen Outcomes in den Gruppen mit niedrigeren Tidalvolumen Trends hin zu einer höheren Mortalität zeigten. Brower et al. kritisieren die Analysen aus verschiedenen Gründen, in erster Linie jedoch wegen des Mangels eines „Behandlungsstandards“ für die mechanische Beatmung und des Fehlens eines klaren Plateaudruck-Limits.

Um diese Problematik zu untersuchen und die Effekte der Beatmung mit niedrigem Tidalvolumen auf die Mortalität zu evaluieren, konstruierten Brower et al. am ersten Tag nach Randomisierung in ihrer Studie (Acute Respiratory Distress Syndrome Network. *The New England Journal of Medicine*, 2000, 342: 1301–1308) eine geglättete Kurve von Mortalität gegenüber Plateaudruck (siehe Abbildung). Die positive Steigung dieser Beziehung spiegelt in erster Linie einen schwereren Erkrankungsgrad der Patienten mit geringerer Compliance der Atemwege wider. In einer logistischen Regressionsanalyse ließ sich die Mortalität jedoch allein anhand des Plateaudrucks vorhersagen, wenn APACHE III und Tidalvolumen konstant gehalten wurden. Vor allem gab es jedoch keine Hinweise auf eine schädliche Wirkung niedriger Plateaudrücke auf die in der Abbildung dargestellte Beziehung. Diese evidenzbasierte Kurve und Analyse weichen von der hypothetischen Beziehung ab, die in Abbildung 3 des Artikels von Eichacker und Kollegen dargestellt ist.

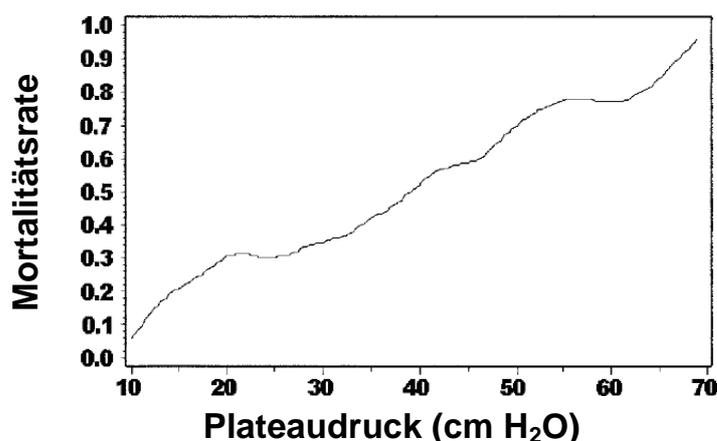


Abbildung: Beziehung zwischen Mortalität und inspiratorischem Plateaudruck am ersten Tag nach Randomisierung in eine klinische Studie zur Tidalvolumenreduktion beim ALI

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12450939>

JAMA, 2002, 16, 287: 345–55

Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study (Charakteristika und Outcomes bei erwachsenen Patienten unter mechanischer Beatmung: eine internationale Studie über 28 Tage)

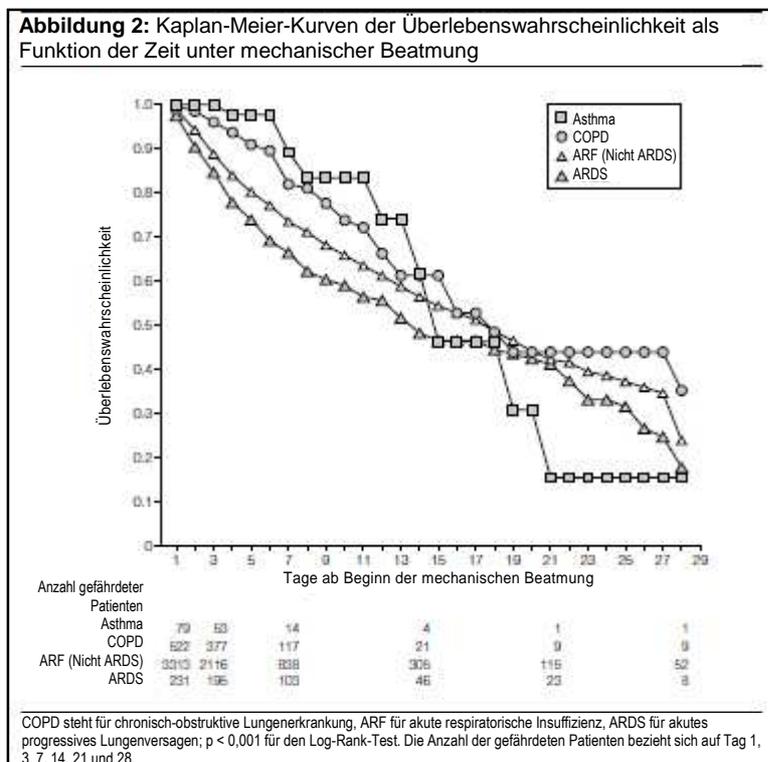
Esteban, A.; Anzueto, A.; Frutos, F.; Alía, I.; Brochard, L.; Stewart, T. E.; Benito, S.; Epstein, S. K.; Apezteguía, C.; Nightingale, P.; Arroliga, A. C.; Tobin, M. J.
Internationale Studiengruppe zur mechanischen Beatmung, Intensivstation, Universitätsklinikum Getafe, Madrid, Spanien

HINTERGRUND: Das Patienten-Outcome unter mechanischer Beatmung für bestimmte Indikationen wurde untersucht, es liegen jedoch keine Daten zum Outcome für eine große, willkürlich zusammengesetzte, heterogene Patientenpopulation vor.

ZIEL: Ermittlung des Überlebens von Patienten unter mechanischer Beatmung und relatives Gewicht von Faktoren, die das Überleben beeinflussen

DESIGN, UMGEBUNG UND PROBANDEN: Prospektive Kohortenstudie an konsekutiven, erwachsenen Patienten auf 361 Intensivstationen, die zwischen 1. März 1998 und 31. März 1998 länger als 12 Stunden mechanisch ventiliert wurden. Zu jedem Patienten wurden bei Initiierung der mechanischen Beatmung sowie täglich über die gesamte mechanische Beatmungsdauer bis zu 28 Tage lang

HAUPTZIELKRITERIUM: Mortalität aller Ursachen während des Aufenthalts auf der Intensivstation.



ERGEBNISSE: Von den 15.757 eingelieferten Patienten wurden insgesamt 5.183 (33 %) für eine mittlere (SD) Dauer von 5,9 (7,2) Tagen mechanisch beatmet. Die mittlere (SD) Aufenthaltsdauer auf der Intensivstation betrug 11,2 (13,7) Tage. Die Gesamtmortalitätsrate auf der Intensivstation lag für die gesamte Population bei 30,7 % (1.590 Patienten), bei den Patienten, die aufgrund eines akuten progressiven Lungenversagens beatmet wurden, bei 52 % (120) und bei den Patienten, die aufgrund einer Exazerbation einer chronisch-obstruktiven Lungenerkrankung beatmet wurden, bei 22 % (115). Das Überleben der willkürlich ausgewählten Patienten unter mechanischer Beatmung für mehr als 12 Stunden betrug 69 %. Die Hauptfaktoren, die unabhängig voneinander mit einer erhöhten Mortalität assoziiert waren, waren: (1) Faktoren, die zu Beginn der mechanischen Beatmung vorlagen (Odds Ratio [OR]: 2,98; 95 % Konfidenzintervall [KI]: 2,44–3,63; $p < 0,001$ für Koma), (2) Faktoren mit Bezug auf das Patientenmanagement (OR: 3,67; 95 % KI: 2,02–6,66; $p < 0,001$ für einen Atemwegsplateaudruck > 35 cm H₂O) und (3) Entwicklungen, die im Verlauf der mechanischen Beatmung auftraten (OR: 8,71; 95 % KI: 5,44–13,94; $p < 0,001$ für einen Quotienten aus paO_2 zu inspirierter Sauerstoffkonzentration < 100).

FAZIT: Das Überleben bei mechanisch beatmeten Patienten hängt nicht nur von den zu Beginn der mechanischen Beatmung vorliegenden Faktoren ab, sondern auch von der Entwicklung von Komplikationen und dem Patientenmanagement auf der Intensivstation.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11790214>

The New England Journal of Medicine, 2000, 342: 1301–8

Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome

(Beatmung mit niedrigeren Tidalvolumen im Vergleich zu konventionellen Tidalvolumen beim akuten Lungenversagen und akuten progressiven Lungenversagen)

Das ARDS-Netzwerk

HINTERGRUND: Traditionelle Ansätze zur mechanischen Beatmung wenden Tidalvolumen von 10 bis 15 ml/kg Körpergewicht an und können bei Patienten mit akutem Lungenversagen und akutem progressivem Lungenversagen dehnungsinduzierte Lungenschäden verursachen. Es wurde daher eine Studie durchgeführt, in der ermittelt werden sollte, ob eine Beatmung mit niedrigeren Tidalvolumen zu besseren klinischen Ergebnissen bei diesen Patienten führen würde.

METHODEN: Patienten mit akutem Lungenversagen und akutem progressivem Lungenversagen wurden in eine multizentrische, randomisierte Studie eingeschrieben. Die Studie verglich die konventionelle Beatmung mit einem Anfangstidalvolumen von 12 ml/kg vorhergesagtem Körpergewicht und einem Atemwegsdruck von 50 cm H₂O oder weniger (gemessen nach einer Pause von 0,5 Sekunden am Ende der Inspiration) mit der Beatmung mit einem niedrigeren Tidalvolumen, bei der ein Anfangstidalvolumen von 6 ml/kg vorhergesagtem Körpergewicht und ein Plateaudruck von 30 cm H₂O oder weniger verwendet wurden. Die Hauptzielkriterien waren Ableben eines Patienten vor dessen Entlassung aus dem Krankenhaus sowie Atmung ohne Unterstützung und die Anzahl der beatmungsfreien Tage zwischen Tag 1 und Tag 28.

ERGEBNISSE: Die Studie wurde nach Einschreibung von 861 Patienten abgebrochen, da die Mortalität in der mit niedrigeren Tidalvolumen behandelten Patientengruppe geringer war als in der Gruppe, die mit konventionellen Tidalvolumen behandelt wurde (31,0 % vs. 39,8 %; $p = 0,007$). Darüber hinaus war die Anzahl der beatmungsfreien Tage während der ersten 28 Tage nach der Randomisierung in der ersten Gruppe höher (Mittel [+/-SD]: 12 +/-11 vs. 10 +/-11; $p = 0,007$). Das mittlere Tidalvolumen an Tag 1 und Tag 3 betrug 6,2 +/-0,8 bzw. 11,8 +/-0,8 ml/vorhergesagtem Körpergewicht ($p < 0,001$) und der mittlere Plateaudruck betrug 25 +/-6 bzw. 33 +/-8 cm H₂O ($p < 0,001$).

FAZIT: Bei Patienten mit akutem Lungenversagen und akutem progressivem Lungenversagen bewirkt die mechanische Beatmung mit einem niedrigeren Tidalvolumen als dem traditionellerweise angewendeten eine Abnahme der Mortalität und eine Zunahme der beatmungsfreien Tage.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10793162>

7. MOBILISATION

Critical Care Medicine, 2010, 38 (11): 2089–94

Feasibility of physical and occupational therapy beginning from initiation of mechanical ventilation

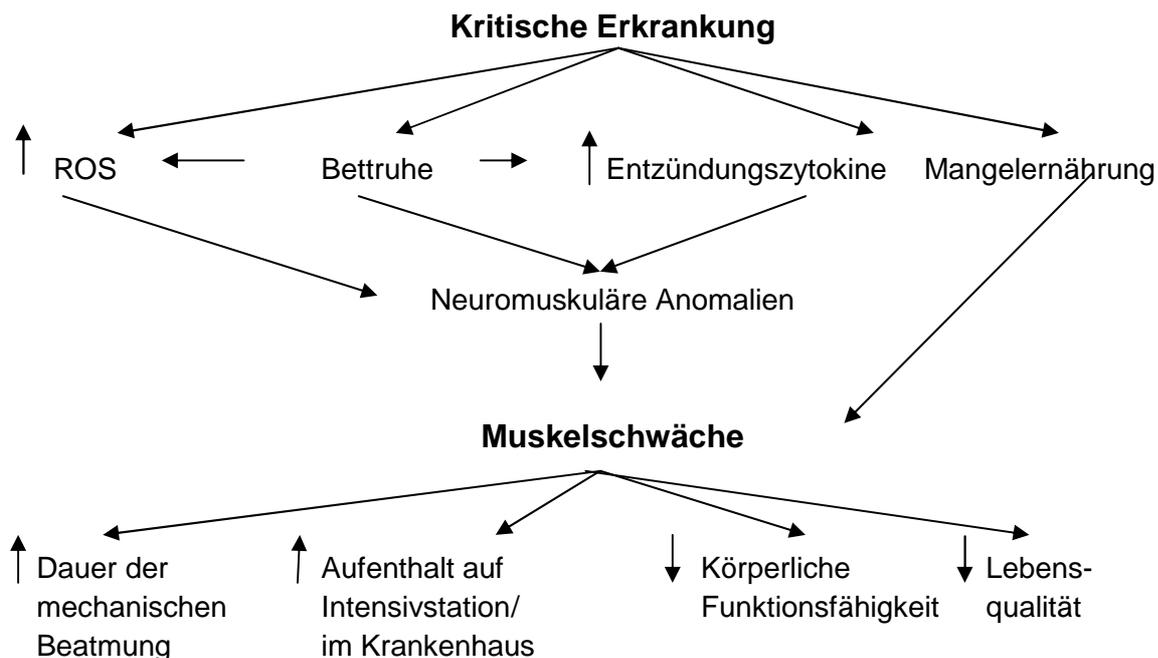
(Praktische Anwendbarkeit der Physio- und Ergotherapie ab Initiierung der mechanischen Beatmung)

Pohlman, M. C.; Schweickert, W. D.; Pohlman, A. S.; Nigos, C.; Pawlik, A. J.; Esbrook, C. L.; Spears, L.; Miller, M.; Franczyk, M.; Deprizio, D.; Schmidt, G. A.; Bowman, A.; Barr, R.; McCallister, K.; Hall, J. B.; Kress, J. P.

Medizinische Abteilung, Fachbereich für Pneumologie und Intensivmedizin, Universität von Chicago, Illinois, USA

Physio- und Ergotherapie sind direkt nach der Intubation bei mechanisch beatmeten Intensivpatienten möglich. Die vorliegende Studie beschreibt detailliert den Interventionsarm einer Studie an mechanisch beatmeten Patienten, die früh eine Physio- und Ergotherapie erhielten. Die endotracheal intubierten Patienten saßen in 69 % aller Physio- und Ergotherapiesitzungen an der Bettkante, in 33 % der Sitzungen konnten die Patienten vom Bett in einen Stuhl gesetzt werden und in weiteren 33 % standen die Patienten. Bei 89 % der Patientenbegegnungen lag während der mechanischen Beatmung mindestens eine potenzielle Mobilitätsbarriere vor (akutes Lungenversagen, Gabe vasoaktiver Medikamente, Delirium, Nierenersatztherapie oder Body Mass Index ≥ 30 kg/m²). Die Therapie wurde in 4 % aller Sitzungen vorzeitig abgebrochen, meist aufgrund von Patienten-Ventilator-Asynchronie und Agitiertheit.

FAZIT: Eine frühzeitige Physio- und Ergotherapie ist bereits ab Beginn der mechanischen Beatmung möglich – trotz des akuten Erkrankungszustands und der Gegenwart lebenserhaltender Geräte. Unerwünschte Ereignisse sind selbst in dieser Hochrisikogruppe selten.



<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20711065>

Critical Care 2009, 13 (4): 216

Bench-to-bedside review: mobilizing patients in the intensive care unit—from pathophysiology to clinical trials

(Translationale Forschung: Mobilisierung von Patienten auf der Intensivstation – von der Pathophysiologie zu klinischen Studien)

Truong, A. D.; Fan, E.; Brower, R. G.; Needham, D. M.

Abteilung für Pneumologie und Intensivmedizin, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland, USA

Da sich die Mortalität bei schweren Erkrankungen in den letzten Jahren verbessert hat, wird vermehrt ein Augenmerk auf die Patientenergebnisse nach Entlassung aus dem Krankenhaus gelegt. Eine auf der Intensivstation erworbene neuromuskuläre Schwäche ist häufig, persistent und oftmals schwer ausgeprägt. Immobilität aufgrund langer Bettruhe auf der Intensivstation könnte eine wichtige Rolle bei der Entwicklung einer erworbenen Schwäche spielen. Studien an anderen Patientenpopulationen haben gezeigt, dass mäßige körperliche Betätigung das mit Immobilität assoziierte Entzündungsmilieu positiv beeinflusst und die Muskelstärke und körperliche Funktionsfähigkeit verbessert. Aktuelle Studien haben ergeben, dass eine Frühmobilisierung von Intensivpatienten sicher und praktisch durchführbar und zu einer potenziellen Reduzierung der kurzfristigen körperlichen Beeinträchtigung führt. Die Frühmobilisierung erfordert jedoch eine wesentliche Änderung der intensivmedizinischen Praxis, d. h. eine Reduzierung schwerer Sedierung und Bettruhe. Es muss noch mehr Forschung betrieben werden, um zu ermitteln, ob eine Frühmobilisierung von Intensivpatienten die kurz- und langfristigen Behandlungsergebnisse verbessern kann.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19664166>

Intensive Care Medicine 2008, 34 (7): 1188–99

Physiotherapy for adult patients with critical illness: recommendations of the European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients

(Physiotherapie bei kritisch erkrankten erwachsenen Patienten: Empfehlungen der European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine, Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients)

Gosselink, R.; Bott, J.; Johnson, M.; Dean, E.; Nava, S.; Norrenberg, M.; Schönhofer, B.; Stiller, K.; van de Leur, H.; Vincent, J. L.
Respiratorische Rehabilitation, Fakultät für Kinesiologie und Rehabilitation, Katholieke Universiteit Leuven, Belgien

Die Task Force prüfte und diskutierte die verfügbare Literatur zur Effektivität einer Physiotherapie bei akut und chronisch kritisch erkrankten erwachsenen Patienten. Die Evidenz aus randomisierten kontrollierten Studien und Metaanalysen war begrenzt und die meisten Empfehlungen entsprachen Empfehlungsgrad C (Evidenz aus nicht kontrollierten oder nicht randomisierten Studien oder aus Beobachtungsstudien) oder D (Expertenmeinung). Es wurden jedoch die folgenden, evidenzbasierten Ziele für die Physiotherapie identifiziert: Dekonditionierung, eingeschränkte Freihaltung der Atemwege, Atelektase, Vermeidung einer Intubation und Weaning-Versagen. Diskrepanzen und ein Mangel an Daten zur Effektivität der Physiotherapie in klinischen Studien untermauern die Notwendigkeit, Leitlinien für die physiotherapeutische Evaluierung aufzustellen und insbesondere Patientenmerkmale zu identifizieren, anhand derer Behandlungen individuell verschrieben und angepasst werden können. Es ist notwendig, Wege zur klinischen Entscheidungsfindung und Ausbildung zu standardisieren, das Berufsprofil des Physiotherapeuten klar zu definieren und das Bewusstsein für die Vorteile der Prävention und Behandlung von Immobilität und Dekonditionierung bei kritisch erkrankten erwachsenen Patienten zu erhöhen.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18283429>

8. KONTAKT

Auf Wunsch senden wir Ihnen gerne den Volltextartikel sowie eine vollständige Literaturliste zu. Senden Sie uns bitte eine E-Mail mit Ihren jeweiligen Wünschen an folgende

Adresse: info@novalung.com

Novalung GmbH

Im Zukunftspark 1
D-74076 Heilbronn

Tel.: +49 7131 27 06 0
Fax: +49 7131 27 06 299
E-Mail: info@novalung.com
www.novalung.com/evidence

Novalung Compendium of Evidence
Version 5.2
Redaktionsschluss: 22. Juni 2011
DE-004-2011-08

24/7 Clinical Support
+49 69 1339 4115

www.novalung.com/evidenz