

**10. Workshop
Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin vom
29. bis 30. März 2012 in Aachen**



**„Automatisiertes ARDSnet in Closed-Loop Ventilation mit
EIT Bewertung“**

Anake Pomprapa, Steffen Leonhardt
Philips Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik, RWTH University Aachen, Aachen,
Deutschland
E-Mail: pomprapa@hia.rwth-aachen.de

David Schwaiberger, Burkhard Lachmann
Klinik für Anästhesiologie, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland

Torsten Meier
Klinik für Anästhesiologie, Universität Schleswig-Holstein, Lübeck, Deutschland

Copyright: VDI Verlag GmbH
Band: Fortschritt-Bericht VDI Reihe 17 Nr. 286 „Automatisierungstechnische
Verfahren für die Medizin“
Editors: Prof. Dr.-Ing. Dr. med. Steffen Leonhardt, Prof. Dr.-Ing. Dirk Abel, Prof. Dr.-
Ing. Klaus Radermacher, Christian Brendle, Henry Arenbeck, Kurt Gerlach-
Hahn, Kirska Dannenberg
ISBN: 978-3-18-328617-1
Pages: 1-2

Automatisiertes ARDSnet in Closed-Loop Ventilation mit EIT Bewertung

Anake Pomprapa¹, David Schwaiberger², Torsten Meier³, Burkhard Lachmann² und Steffen Leonhardt¹

¹Philips Lehrstuhl für Medizinische Informationstechnik, RWTH University Aachen, Aachen, Deutschland

²Klinik für Anästhesiologie, Charité Universitätsmedizin Berlin, Berlin, Deutschland

³Klinik für Anästhesiologie, Universität Schleswig-Holstein, Lübeck, Deutschland

Kontakt: pomprapa@hia.rwth-aachen.de

Einleitung

Unter „Acute Respiratory Distress Syndrome“ (ARDS) versteht man ein akutes Lungenversagen. Der Begriff ARDS bezieht sich auf die verschiedenen Ursachen von Lungenschädigungen. Primär z.B. durch Pneumonie und sekundär z.B. nach einer Sepsis oder nach einer Lungeninfektionen, wie in 2009 nach dem H1N1 Virus (Grippe A Virus)¹. Das charakteristische Merkmal des Syndroms ist eine zuerst normale Lungenfunktion, die zu einer schnell progressiven Hypoxämie wird. Der ARDS-Inzidenz wird auf ca. 78,9 Fällen pro Jahr je 100.000 Einwohner geschätzt.² Die Gesamtmortalität beträgt nach wie vor ungefähr 50 %, deshalb ist ARDS eine große Herausforderung der Intensivmedizin.

Aufgrund der stark ausgebildeten Hypoxämie müssen ARDS-Patienten in der Regel beatmet werden. Häufig sind aggressive Beatmungsmethoden notwendig, um eine ausreichende Oxygenierung zu gewährleisten. Ein Meilenstein in der Entwicklung lungenprotektiver Ventilation war die Studie des ARDS-Netzwerk aus den USA³, in die über 800 Patienten beteiligt waren. Es wurde untersucht, ob eine protektive Beatmung mit dem Tidalvolumen 6 ml/kg und einem Beatmungs-Plateaudruck von maximal 30 cm H₂O im Vergleich zu einer konventionellen Strategie mit dem Tidalvolumen 12 ml/kg und Beatmungs-Plateaudruck maximal 50 cm H₂O bessere oder schlechtere Ergebnisse liefert. Das Ergebnis der Studie zeigt eine signifikante Reduktion der Mortalität (um 8,8 %) in der protektiv beatmeten Gruppe. Eine Implementierung dieses Protokolls mit integrierten Expertwissen könnte zukünftig die automatisierte Therapie von ARDS-Patienten mittels elektronisch regelbarem Ventilator im Closed-Loop unter ärztlicher Aufsicht ermöglichen.

Methoden und Materialien

Der Aufbau des medizinischen Expertensystems

Der Systemaufbau des medizinischen Expertensystems besteht aus einem elektronisch regelbarem Beatmungsgerät (Servo 300, Siemens AG), einer Panel PC Steuereinheit (PPC-154T, Advantech Co.,Ltd), einem Spektrophotometer (CeVOX, Pulsion Medical), einem elektrischen Impedanztomograph-Prototypen (EIT GOE-MF2, Dräger Medical AG) und anderen Messgeräten für die ärztliche Überwachung, sowie einem Patientmonitor für die EKG- und Blutdruckmessung, einem Kapnograph für die CO₂-Elimination und CO₂-Kurven Darstellung und

einem Stethoskop für Lungengeräuschuntersuchungen während der Behandlung im volumenkontrollierten Modus.

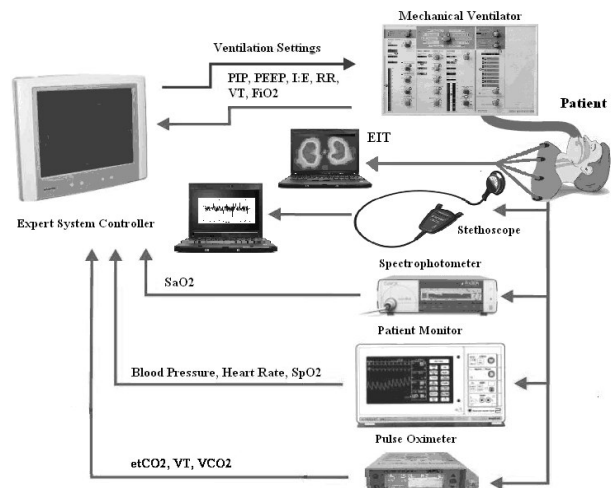


Abb. 1: Anordnung der Systemaufbau

Protokoll des automatisierten ARDSnet

Durch die ARDSnet-Strategie³ sollte folgende Ziele erreicht werden.

- Oxygenierung: Sauerstoffsättigung (SO₂) soll zwischen 88 % und 95 % liegen, bei dem schrittweise die Kombination zwischen PEEP und FiO₂, wie in Tab.1, eingestellt wird. Alle 30 Sekunden wird die SO₂ überprüft und eine neue Kombination von PEEP und FiO₂ wird eingestellt, wenn das Ziel der Oxygenierung nicht erreicht werden konnte. In unserem Experiment verwenden wir die arterielle Sauerstoff-Sättigung (SaO₂) als den Index für die Oxygenierung.

Tab. 1: PEEP und FiO₂ Kombination

PEEP	5	5	8	8	10	10	10
FiO ₂	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7

PEEP	12	14	14	14	16	18	18-24
FiO ₂	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	1.0

- Plateau-Druck-Reduzierung auf weniger als 30 cmH₂O bei kontrolliertem Tidalvolumen zwischen 4 und 8 ml/kg, wobei der Normalwert bei 6 ml/kg liegt. Beispielweise wird das Tidalvolumen auf 1 ml/kg reduziert, wenn der Plateau-Druck mehr als 30 cmH₂O. Liegt der Plateau-Druck unter 25 cmH₂O und das Tidalvolumen geringer als 6 ml/kg, wird das

Tidalvolumen auf 1 ml/kg erhöht. Der Plateau-Druck wird alle 2 Minuten mit einer Pausenzeit von 0,5 Sekunde überprüft.

- pH-Wert-Regelung auf einen Wert zwischen 7,30 und 7,45 bei der Anpassung der Atemfrequenz von maximal Wert 35 bpm. Die Atemfrequenz wird erhöht, wenn der pH-Wert niedriger als 7,30 ist. Andererseits wird die Atemfrequenz reduziert, wenn die Blut-pH-Erhöhung mehr als 7,45 beträgt. Das Blut aus der A. Femoralis wird mit Hilfe einer Blut-Gas-Analyse regelmäßig bewertet.

Tiervorbereitung

Die Tierversuche wurden mit drei 25-kg weiblichen Schweinen durchgeführt, mit Genehmigung der lokalen Tierschutzkommission Berlin. Die Schweine erhielten zunächst eine Prämedikation. Nach 30 Minuten erfolgte die Einleitung der Narkose. Daraufhin wurde eine offene Tracheotomie durchgeführt. Es erfolgte die Katheterisierung der A. Carotis, die CeVOX-Sonde ermöglichte den Zugang, sodass eine kontinuierliche Ableitung der Sauerstoffsättigung gewährleistet ist. Danach wird die Harnblase transkutan katheterisiert. Die 16 Elektroden der elektrischen Impedanztomographie wurden im Brustbereich mit Hilfe eines EIT-Gürtels realisiert.

Ergebnisse

Bevor das automatisierte ARDSnet-Protokoll eingeschaltet wurde, erfolgte die Lavage der Lungen zur Induzierung des akuten Lungenversagens. Die Schweine wurden mit warmer Kochsalzlösung laviert, bis ein $\text{PaO}_2 < 100 \text{ mmHg}$ für mehr als 15 Minuten erreicht wurde. In Abb. 2 werden EIT-Bilder vor und nach der Lavage verglichen. Abb. 2 (b) zeigt zum größten Teil die partielle kollabierte Lunge im linken Bereich. Zum Beispiel hängt der orange gefärbte Bereich mit hohen Impedanzänderungen zusammen. Je röter ein Pixel, desto höher ist die lokale Ventilation. Die Ventilation verschiebt sich deutlich (siehe Abb. 2). Dann ist davon auszugehen, dass die Lungen kollabiert ist.

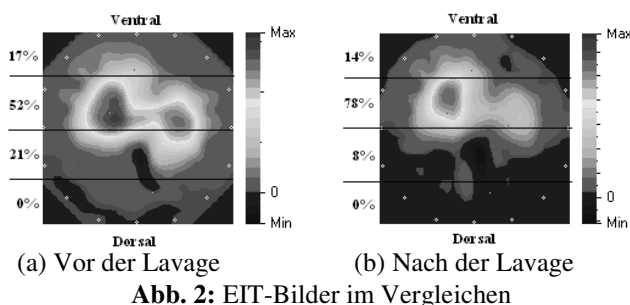


Abb. 2: EIT-Bilder im Vergleich

Abb. 3 zeigt das erfolgreich automatisierte ARDSnet-Protokoll. Der Sollwert SaO_2 liegt stabil zwischen 88 % und 95 %. Gemäß ARDSnet Protokoll wird der optimierte PEEP und die FiO_2 in Stufen mit dem Tidalvolumen von

6 ml/kg angepasst. Der Zustand des Schweines verschlechtert sich in Baseline-Bereich, obwohl das Tidalvolumen höher als 8 ml/kg bzw. 7 ml/kg ist. Man erkennt, dass die SaO_2 bis zu 70 % gesunken ist.

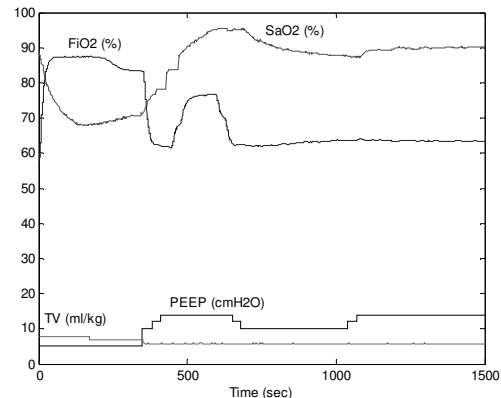


Abb. 3: Erfolgreiches automatisiertes ARDSnet

Abb. 4 zeigt auf der linken Seite einen Lungenzustand mit besserer Ventilation im Vergleich mit Abb 2 (b). Die Ventilation verschiebt sich wieder Richtung Rücken.

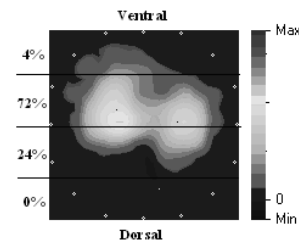


Abb. 4: EIT-Bilder nach dem ARDSnet

Diskussion und Schlussfolgerungen

Das automatisierte ARDSnet ist realisierbar für eine klinische Anwendung und mit der Hilfe von einem EIT-Gerät konnte man den Lungenzustand und die Ventilation nichtinvasiv in Echtzeit berechnen. Nach der Zuverlässigkeitsprüfung konnte man die nächste Generation des Ventilators für auto-ARDSnet integrieren.

Literatur

- [1] Estenssoro E.; Rios FG.; Apezteguia C.; Reina R, Neira J.; et al.: *Pandemic 2009 influenza A in Argentina: a study of 337 patients on mechanical ventilation*. Am J Respir Crit Care Med 2010; 182:41–48.
- [2] Gordon DR.; Ellen C.; Eve P.; Jim W.; et al.: *Incidence and Outcomes of Acute Lung Injury*. N Engl J Med, 2005. 353:1685-93.
- [3] The Acute Respiratory Distress Syndrome Network: *Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome*. N Engl J Med, 2000. 342(18):1301-8.

Danksagung

Wir danken Herrn Henrik Steinkraus für seine Unterstützung während unserer Tierversuche in Berlin.