

HAI Symposium
17. September
2015,
Estrel Convention
Center (ECC),
Berlin

**Pathophysiologie,
Gefahren der
klassischen Beatmung**

S. Rosseau, Berlin

**Konzepte um
intelligente Closed
Loop Beatmungs-
verfahren**

F. Bonin, Essen

**Studienlage und
klinische Anwendung**

B. Schucher,
Großhansdorf

Die Sitzung wurde organisiert
durch Heinen + Löwenstein
GmbH & Co. KG



SYMPOSIUM REPORT

IntelliVent ASV -
erhöhte Patientensicherheit
durch Closed Loop Beatmung!

Es wurde alles unternommen,
um sicherzustellen, dass die
hier veröffentlichten Maßnah-
men und Anweisungen kor-
rekt sind. Für Behandlungs-
maßnahmen beim einzelnen
Patienten ist jedoch allein der
Arzt verantwortlich.

PATHOPHYSIOLOGIE, GEFAHREN DER KLASSISCHEN BEATMUNG

S. Rosseau, Berlin

Individualisierte Medizin ist gut, doch standardisierte Protokolle verbessern oft die Ergebnisse. So verkürzen Extubationsprotokolle im Akutweaning die Beatmungszeit, da viele Ärzte die Entwöhnbarkeit unterschätzen. Außerdem hat die Komplexität der Beatmung in den letzten 20 Jahren drastisch zugenommen, so dass intelligente Beatmungssysteme helfen können, erklärte Frau **Dr. Simone Rosseau, Medizinische Klinik mit Schwerpunkt Infektiologie und Pneumologie; Charité – Universitätsmedizin, Berlin.**

Gefahren lauern bei der Überdruckbeatmung auch für Experten. Wie die Studie das Sepsisnetzwerkes zeigte, wird zwar oft angenommen, lungenprotektiv zu beatmen. Das klappt aber nur in 10 % der Fälle, weil auch Experten nicht ständig neben der Maschine stehen.

WAS IST KONTROLLIERTE BEATMUNG?

Die kontrollierte Beatmung kann über Volumen- oder Druckkontrolle erfolgen. Bei der volumenkontrollierten Form wird über das Atemhubvolumen gesteuert, beim druckkontrollierten Vorgehen wird das Tidalvolumen über den Inspirationsdruck bestimmt. Bei der druckkontrollierten Beatmung muss man eine Rampe einstellen, während bei Volumenkontrolle ein Flow-Profil einzustellen ist. Die volumenkontrollierte Beatmung wird in Deutschland eher selten angewendet, sie erlebt aber bei der lungenprotektiven Beatmung beim frühen ARDS gerade eine Renaissance.

Beatmungsfrequenz und Tidalvolumen determinieren das Atemminutenvolumen. Das direkt angewählte oder über einen prozentualen Inspirationsanteil eingestellte Inspirations/Expirationsverhältnis ist unmittelbar damit assoziiert. Manche Geräte/Modi lassen auch die Eingabe der absoluten Inspirationszeit zu. Wird die Inspirationszeit zu kurz gewählt, kommt es zum Flow-Abbruch, bevor die Lunge vollständig gefüllt ist. Das lässt sich durch ein Flusskurven-Monitoring erkennen.

Ist die Expirationszeit zu kurz, droht eine dynamische Überblähung. Ursache ist eine zu hohe Beatmungsfrequenz mit zu hohem Beatmungsvolumen. Das wird besonders schnell kritisch bei Expirationsflusshindernissen wie z.B. Bronchoobstruktion bei COPD oder Asthma. Auch bei sonst lungengesunden Patienten können Sekrete plötzlich zu Obstruktionen führen. Dann drohen dynamische Überblähungen.

BEI COPD IST VIELES ANDERS

Bei COPD-Patienten mit Hyperkapnie und respiratorischer Azidose darf man nicht - wie sonst bei hohem O_2 -Beatmungsfrequenz und Minutenvolumen erhöhen, erklärte Frau Dr. Rosseau. Wegen der expiratorischen Flusslimitation muss die Atemfrequenz sogar gesenkt werden, um alveoläres Minutenvolumen zu erhöhen und O_2 zu senken.

Beim akuten Lungenversagen wird der PEEP zur Verbesserung des Gasaustausches eingesetzt, weil er die funktionelle Residualkapazität erhöht und dadurch das Ventilations/Perfusionsverhältnis verbessert. Atelektasen werden reduziert, Shunts nehmen ab und die Oxygenierung wird verbessert. Der PEEP beugt Derekrutierungen bei Störungen des Surfactant-Systems bei inflammatorischen Erkrankungen vor und stabilisiert kollapsische Atemwege.

Ein zu hoher PEEP hat ggf. umgekehrte Effekte, es kommt zu Kapillarkompression, höherer Totraumventilation, O_2 -Zunahme und in Extremfällen durch Dehnungsbelastung der Alveolen zum Lungenschaden. Bei Überdruckbeatmung reduziert ein zu hoher intrathorakaler Druck außerdem das Herzzeitvolumen und vermindert den venösen Rückfluss. Daraus können hoher intrakranieller Druck mit Hirnödemen, Abflussstörungen der Nierenvene mit Nierenversagen sowie Leberschäden resultieren.

HÄUFIG: ZU HOHE OXYGENIERUNG

Auf vielen Intensivstationen wird zu stark oxygeniert. Eine hohe FiO_2 mit hoher SO_2 verhindert jedoch das Erkennen atemmechanischer Veränderungen. Eine Sättigung von 90 % ist auch für Patienten mit schwerem hypoxischem Versagen und/oder zerebraler Verschädigung ausreichend. Hinzu kommt die Sauerstoff-Toxizität beispielsweise bei Fibrosen, wo jedes % FiO_2 zu viel schädlich ist. Bei volumenkontrollierter Beatmung muss



der Druck engmaschig überwacht werden, da spontane Veränderungen wie z.B. Sekretbildung, Wachheit und Pressen zu einem Druckanstieg oder Leckagen zu einem Abfall führen. Bei druckkontrollierter Beatmung ist dagegen das Atemzugvolumen aufgrund der Schwankungen von Compliance und Resistance wie z.B. bei Lagerungsmanövern inkonstant. Die Folge sind Derekrutierungen, die wegen des Alarmierungssystems oft nicht schnell genug bemerkt werden.

ASSISTIERTE BEATMUNG

Die assistierte Beatmung unterscheidet sich von der kontrollierten durch die Triggerung. Der Inspirationstrigger kann bei den meisten modernen Geräten mit volumen- oder druckgesteuerten Modi (Flow- oder Druck-Trigger) kombiniert werden. Flow-Trigger sind sensibler und für den Patienten komfortabler. Die Triggerlatenz hängt vom Beatmungsgerät ab und ist manchmal problematisch. Im prolongierten Weaning kann bei Lufthunger eine Triggerlatenz das Atemmuster stören und zu Komplikationen führen.

Die assistiert kontrollierte Beatmung ist heute die häufigste Beatmungsform. Sie führt zu einem geringeren Sedierungsbedarf, besserer Synchronisation, reduziert das Pressen gegen die Beatmung und erhält die Zwerchfellaktivität. Letzteres beugt der Muskelatrophie unter der Beatmung vor. Bei unruhigen Patienten mit Lufthunger besteht jedoch die Gefahr der Hyperventilation mit Hypokapnie und reduzierter O_2 -Abgabe in das Gewebe, besonders im Gehirn. Konsekutiv droht wegen hoher Volumina und zu kurzen Expirationszeiten eine dynamische Überblähung mit Volumenbelastung der Alveolen, Totraumventilation und Hyperkapnie.

Die assistierte Beatmung ermöglicht es dem Patienten bei intaktem Atmungszentrum (keine atemdepressive Medikamente), die Atmung weitgehend seinem Bedarf anzupassen. Bei Medikamenten-Überhang oder bei neuromuskulären Erkrankungen kann es jedoch zur

Hypoventilation bis hin zu Apnoe kommen. Das muss durch Apnoeventilation oder bestimmte Sondermodi wie z.B. PVST mit Backup Frequenz verhindert werden. Zusätzlich besteht immer die Gefahr einer Desynchronisation oder von Über- oder Unterkompensationen der Atemarbeit des Patienten.

Bei Desynchronisationen werden die Atembemühungen des Zwerchfells nicht durch einen ausreichenden Druck oder Flow, die das Gerät triggern können, beantwortet. Fehltriggerungen bedeuten enorme Atemarbeit, überlasten die Muskulatur und führen zum Muskeluntergang. Die Folgen sind prolongiertes Weaning oder sogar Weaningversagen wegen überbeanspruchter Muskulatur.

ARDS-NETZWERK-STUDIE

In der Frühphase des Lungenversagens kann eine Relaxierung plus kontrollierte Beatmung prognostisch günstig sein (Lungenschaden durch Desynchronisation). 15 Jahre nach der ARDS-Netzwerk-Studie ist heute der beatmungsinduzierte Lungenschaden allgemein bekannt. Die Studie führte zu einem Paradigmenwechsel, die Beatmung erfolgt heute nicht allein nach der Blutgasanalyse, sondern die Atemmechanik wird mitberücksichtigt.

Die Studie zeigte, dass eine gut eingestellte Beatmung die Prognose verbessern kann. Die ARDS-Netzwerk-Einstellung wurde zum Goldstandard. SOPs fordern jetzt, dass das Beatmungszugvolumen nicht über 6 ml/kg liegen darf, der Spitzendruck unter 35 cm H_2O und der Plateaudruck bei volumenkontrollierter Beatmung unter 30 cm H_2O bleiben sollte. Außerdem wird der PEEP nicht individuell adaptiert sondern nach Tabellen ausgerichtet.

Solche Vorgaben sind in deutschen Intensivstationen jedoch nur schwer einzuhalten. Bei druckkontrollierter oder assistiert kontrollierter Beatmung ist das Volumen sehr variabel und ändert sich je nach Körperposition. Problem: Die ARDS-Netzwerkstudie wurde

bei zuvor lungengesunden Patienten durchgeführt. Für Patienten mit chronischen Lungenerkrankungen ist sie nicht repräsentativ. Während bei ARDS mit Rekrutierungspotential ein PEEP-Trial zur Compliance-Verbesserung führt, haben Pneumonie-Patienten mit ARDS ein geringes Rekrutierungspotential und bei hohem PEEP drohen u.u. Überdehnungsbelastungen und beatmungsassoziierter Lungenschaden.

PEEP ist kein Allheilmittel bei Oxygenierungsstörungen sondern kontraproduktiv, wenn keine Rekrutierung möglich ist, schlussfolgerte Frau Dr. Rosseau. Auch Patienten mit Lungenfibrosen vertragen PEEP-Belastungen nicht, ihre Prognose ist mit wenig PEEP besser. Der optimale PEEP ist bei jedem Patienten in Abhängigkeit von Vorerkrankungen und Körperkonstitution anders. Goldstandards sind zwar für das Gros der Patienten von Vorteil, doch bei pulmonal Vorerkrankten oder Adipösen ist ein individuelles Vorgehen erforderlich.

KONZEPTE UM INTELLIGENTE CLOSED LOOP BEATMUNGSVERFAHREN – DIE PERSPEKTIVE DES KLINIKERS

F. Bonin, Essen

Close Loop-Beatmungsverfahren sind sicher und können die Beatmungsdauer verkürzen. Die Zahl der erforderlichen Korrekturen durch die Therapeuten ist deutlich geringer als bei konventioneller Beatmung, erklärte Dr. Frank Bonin, **Abteilung für Intensivmedizin und Respiratorentwöhnung, Ruhrlandklinik, Essen**

Normalerweise steuert das Gehirn die Atmung anhand von Informationen von Chemorezeptoren aus Thorax und Lunge sowie von Dehnungs- und Muskelrezeptoren. Bei der Closed Loop-Beatmung verarbeitet der Respirator ebenfalls Informationen vom Patienten und passt die Beatmung an. Je nach Überwachung und Voreinstellungen sind dabei Resultate möglich, die zwischen Kontrollverlust durch Automatisierung und optimaler Anpassung an den Patienten liegen.

In der Frühphase erfolgten nur Eingriffe in die Volumen- oder Druckregulation. Später wurden physiologische Daten wie z.B. Druck- oder Flow-Werte oder bei NAVA die elektrische Aktivität der Muskulatur erfasst und diese Informationen verarbeitet.

NAVA (neurally adjusted ventilatory assist) funktioniert nach dem folgenden Schema:¹ Das ZNS gibt einen Impuls an den Nervus phrenicus, es folgt eine neuromuskuläre Erregung, die die muskuläre Atemaktivität auslöst (Abbildung 1). NAVA misst die elektrische Aktivität, analysiert sie und passt die Beatmung an das Messergebnis an. Eine andere Möglichkeit ist die Ableitung von Signalen aus dem Ösophagus.

Bei der ASV (adaptive support ventilation) wird die Atemmechanik anhand von dynamischer Compliance und Resistance modifiziert. ASV ermittelt Tidalvolumina und Atemfrequenz und passt den Unterstützungsdruck an. Im Unterschied zur NAVA lassen sich mit ASV assistierte und kontrollierte Beatmung kombinieren. Limitationen gibt es jedoch ähnlich wie bei NAVA bei Patienten mit neurologischen Erkrankungen oder wegen der zentralen Überregulation bei Delir.

INTELLIVENT BERÜCKSICHTIGT ZAHLREICHE PARAMETER

In ASV-Weiterentwicklungen wurden weitere Stellgrößen wie Sauerstoffsättigung und endtidales O₂ integriert und für die Beatmungssteuerung verwendet (**IntelliVent**). Kleinere Studien zeigten die Überlegenheit der ASV im Vergleich zur PSV (pressure support ventila-

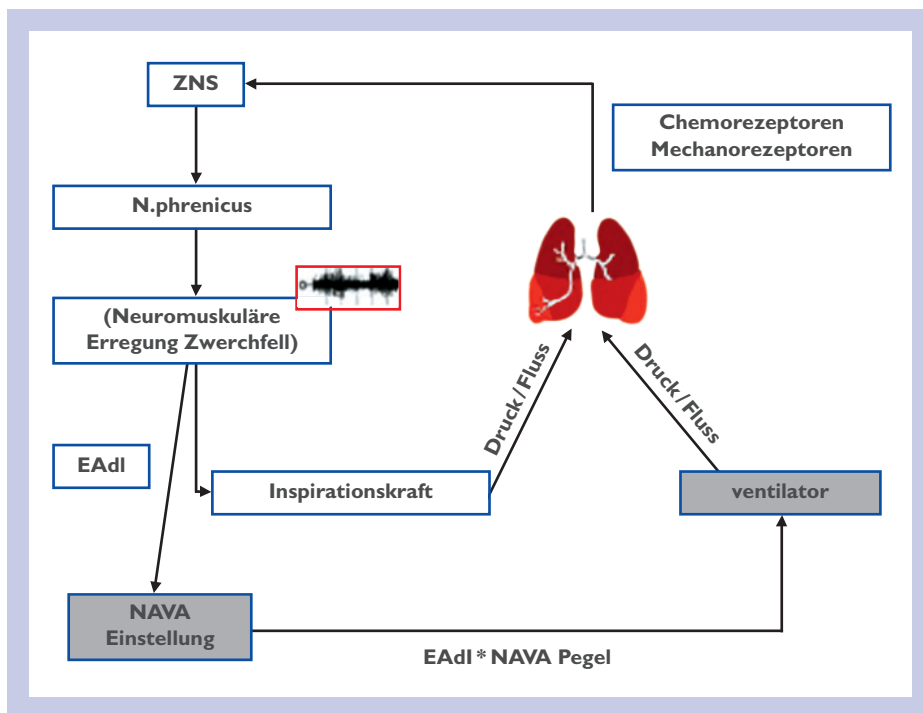


Abbildung 1: Funktionsprinzip von NAVA (neurally adjusted ventilatory assist)¹

tion) beim Weaning. Beim ASV lassen sich das an das ideale Körpergewicht adaptierte Minutenvolumen, PEEP und Sauerstoff-Konzentration im Atemgas vorgeben. Sensoren messen endtidales CO₂ und Sauerstoffsättigung und die Maschine passt die Stellgrößen eigenständig an. Bei schwerkranken COPD-Patienten gibt Dr. Bonin den PEEP nicht frei, sondern hält ihn konstant.

Dr. Bonin benutzt einen O₂-Sensor im Atemgas und einen klassischen Sauerstoffsättigungs-Sensor. Bei Patienten mit niedrigem O₂ kann man meist von einer Hyperventilation ausgehen, berichtete der Experte. Das kann die Maschine, wenn die Grenzen entsprechend gesetzt wurden, eigenständig korrigieren. Ein Problem ist, dass sich bei steigendem PEEP auch die sonstigen Rahmen-

bedingungen ändern und man die Kontrolle über den Patienten verlieren kann, weil sich z. B. der O₂-Bereich bei steigendem Beatmungsdruck nach oben verschiebt.

VORTEILE DER CLOSED LOOP-BEATMUNG

Die Patienten einer großen Intensivstation mit 29 Betten wurden unter ASV in der ersten Woche besser und schneller geweant als mit konventioneller Beatmung.² Mit SMART-CARE beatmete Patienten (n = 49) konnten im Vergleich zu nach Protokoll beatmete Patienten (n = 43) schneller extubiert werden und die Zeit bis zum ersten Spontanattemptsversuch war kürzer.³

Eine kleine Studie verglich **IntelliVent** mit klassischer assistierter Spontanatmung bei

14 Patienten über 24 Stunden.⁴ Untersuchungskriterien waren die Blutgasanalyse (BGA) nach 1, 8, 16, 24 Stunden, die Beatmungsparameter und das Outcome. Inadäquate Beatmung war mit klassischer Beatmung wesentlich häufiger als mit **IntelliVent**.

Bei 100 nicht selektierten Intensivpatienten und einer mittleren Beatmungsdauer von 3 Tagen war **IntelliVent** sicher.⁵ Diese Ergebnisse bestätigte auch eine Cochrane-Metaanalyse, die zeigte, dass Closed Loop-Verfahren die Beatmungsdauer verkürzen können.⁶ Ein Vergleich von zwei Closed Loop-Beatmungs-Modi und konventioneller Beatmung (n = 128) zeigte eine deutliche Abnahme ärztlicher Interventionen bei automatisierten Beatmungsformen (Abbildung 2).⁷

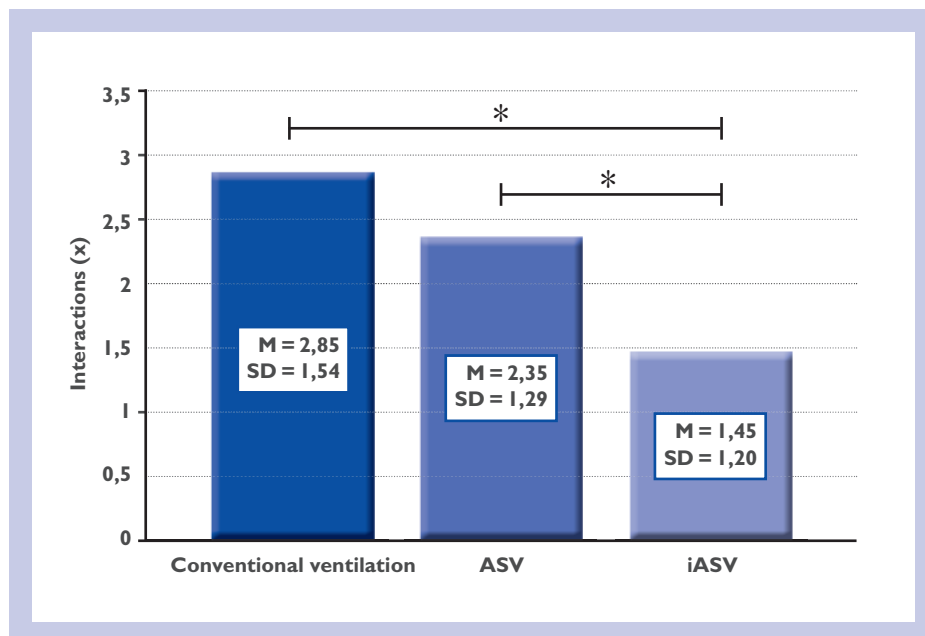


Abbildung 2: Ärztliche Interventionen bei verschiedenen Beatmungsmodi⁷

STUDIENLAGE UND KLINISCHE ANWENDUNG

B. Schucher, Großhansdorf

Closed Loop-Beatmungen sind nach vorliegender Studienlage sicher, ermöglichen häufiger und länger sichere Beatmungseinstellungen und führen zur Arbeitsreduktion von Ärzten und Krankenschwestern. Es fehlen jedoch Langzeitdaten und in die Regelalgorithmen sollten mehr physiologische Messwerte wie z. B. der transpulmonale Druck einfließen, erklärte **Dr. Bernd Schucher, LungenClinic Grosshansdorf**.

Eine randomisierte Cross over-Studie verglich ASV mit **IntelliVent-ASV** bei 50 passiven, kontrolliert beatmeten Patienten.⁸ 19 hatten pulmonologische Erkrankungen, 31 ARDS. **IntelliVent-ASV** erwies sich als sicher, Minutenvolumen, inspiratorischer Druck und Plateaudruck, PEEP und FiO₂ gingen zurück und die Patienten waren länger im optimalen Beatmungsbereich.

Die zusätzlichen physiologischen Rückkopplungsparameter Sättigung und CO₂ führten dazu, dass mehr Zeit niedrige Beatmungsdrücke verabreicht sowie weniger Drucke über 30 cm H₂O verwendet wurden, die Patienten längere Zeit in einem optimalen Tidalvolumenbereich zwischen 6 und 8 ml/kg verblieben und seltener einer zu hohe Sauerstoffsättigung vorlag.

Bei einem Patienten dieser Studie, der zunächst mit ASV beatmet und dann auf **IntelliVent** umgestellt wurde, war das Atemminutenvolumen aufgrund der Voreinstellung mit ASV konstant (Abbildung 3). Nach der Umstellung auf **IntelliVent** wurde das AMV innerhalb von 10 Minuten in kleinen Schritten herunterreguliert und das CO₂ stieg auf 43 mmHg an.

REDUKTION ERHÖHTER SAUERSTOFFWERTE

Die Sauerstoff-Sättigung lag unter ASV bei 98 %. Der Patient war gut oxygeniert, doch der FiO₂ betrug extrem hohe 60 %. **IntelliVent** regulierte den Sauerstoff herunter und die Sättigung fiel in einen nicht ganz optimalen Bereich ab. Dann hob **IntelliVent** PEEP und FiO₂ an, machte Reduktionsversuche - innerhalb von 25 Minuten gab es etwa 20 Anpassungsschritte. So etwas geht in der Klinik nicht, da wird eingestellt, einen Moment geschaut und dann die Einstellung belassen, erklärte Dr. Schucher. Bei diesem Patienten veränderte **IntelliVent** viele Parameter signifikant: Das Tidalvolumen wurde lungenfreundlicher, der Druck niedriger und der FiO₂ sank von 50 % auf 34 %. Diese Reduktion hat für akut erkrankte Lungen wegen der hohen Toxizität von 50 % Sauerstoff eine große Bedeutung.

Das Problem mit der Sauerstoffregulierung ist weit verbreitet. Sauerstoff wird oft einfach nicht reduziert. In der Universitätsklinik Amsterdam wurden 125.000 Blutgasanalysen von 5500 beatmeten Patienten ausgewertet und bei 28.000 BGA eine zu hohe Sauerstoffversorgung festgestellt (>120 mmHg), doch nur in einem Viertel der Fälle erfolgte eine FiO₂-Reduktion.⁹

Nicht nur im klinischen Alltag, auch in Studien werden unnötig hohe O₂-Werte beobachtet. In einer im NEJM publizierten Studie mit Ösophagusdruck-gesteuerter Beatmung bei ARDS wurde der Sauerstoff von 67 % auf 49 % reduziert.¹⁰ Warum wurde der Sauerstoff nicht weiter vermindert, fragte Dr. Schucher. Selbst in Studien, die im NEJM erscheinen, werden also unnötig hohe Sauerstoffwerte einfach weiter appliziert.

ÜBER 2000 DRUCKANPASSUNGEN IN 24 STUNDEN

In einer Studie bei aktiven Patienten wurde ausgewertet, wie viel Veränderungen erfolgen.⁴ Manuell wurde der Beatmungsdruck bei

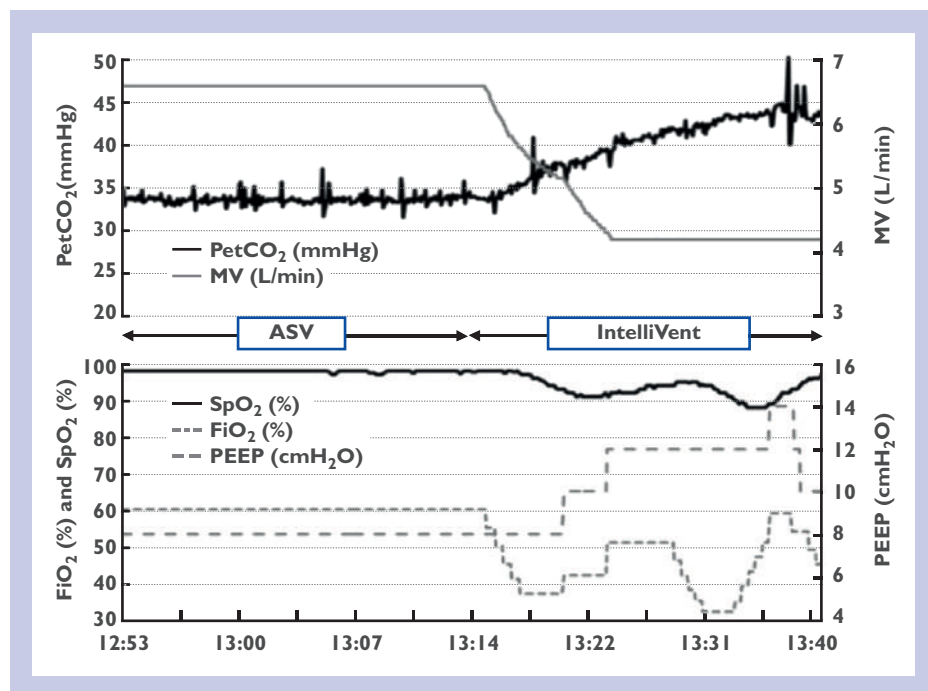


Abbildung 3: Verlauf der Beatmungsparameter mit ASV und IntelliVent⁸

den 14 Patienten im Mittel einmal verstellt. Vielmehr passiert im Alltag auch nicht.

IntelliVent-ASV veränderte den Druck in 24 Stunden pro Patient durchschnittlich 2146-mal (Abbildung 4). Dr. Schucher findet das etwas "nervös". Der PEEP wurde wegen des hinterlegten langsamen Algorithmus lediglich 13-mal (manuell durchschnittlich 0-mal) und der Sauerstoff durchschnittlich 87-mal pro Tag verändert (manuell 1-mal).

Kardi chirurgische Patienten eignen sich wegen der schnellen postoperativen Veränderungen ihrer Physiologie besonders gut für eine automatisierte Beatmung. **IntelliVent** regulierte die Beatmung in einer Studie besser.¹¹ Tidalvolumina und Plateaudrucke waren geringer, die Hyperoxygenierung wurde reduziert und das CO₂ war stabiler (Abbildung 5). Ein beatmeter lungengesunder CABG-Patient kann schnell hyperventiliert werden. Sinkt daraufhin der CO₂-Wert unter 30 mmHg fällt der myokardiale Blutfluss rasch ab. Das ist nach Bypass-Operation keine Marginalie, Automatisierung kann da vorbeugen, betonte Dr. Schucher.

INTELLIVENT SICHER

Bei 100 konsekutiven Intensiv-Patienten mit 392 Beatmungstagen unter **IntelliVent-ASV** musste in keinem Fall der Modus verlassen werden.⁵ 95 % der Beatmungszeit wurde die komplette Automatik belassen (Atemminutenvolumen, PEEP und FiO₂-Automatisierung), aber in 5 % wurde eingegriffen: Bei 2 Patienten wurde der Ventilationscontroller wegen eines hohen Gradienten zwischen endtidalem und arteriellen CO₂ deaktiviert.

Die PEEP-Controller-Deaktivierung kann bei bestimmten Patienten erforderlich sein, wenn die in der Automatik hinterlegte Tabelle für den Patienten (z. B. bei Lungenerkrankungen, Adipöse) nicht geeignet ist. Die ARDS-Netzwerk-Tabelle für die PEEP-Einstellung passt für Standardpatienten, doch die Bestimmung der Physiologie, d.h. intrinsische PEEP-Bestimmung und transpulmonale Druckmessungen ist bei Problempatienten besser.

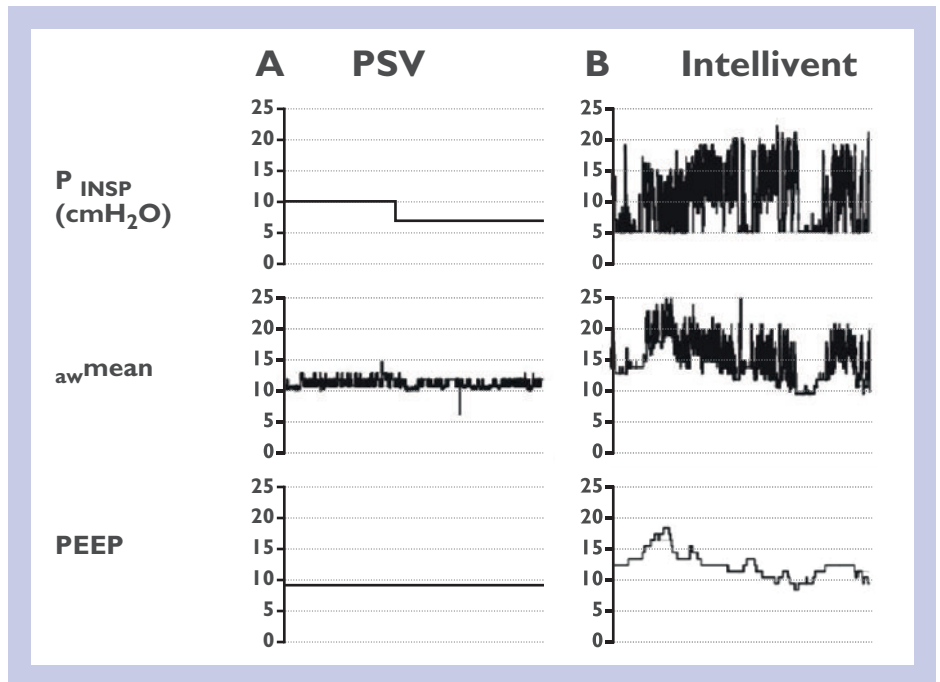


Abbildung 4: Verlauf der Beatmungsparameter mit ASV und IntelliVent⁸

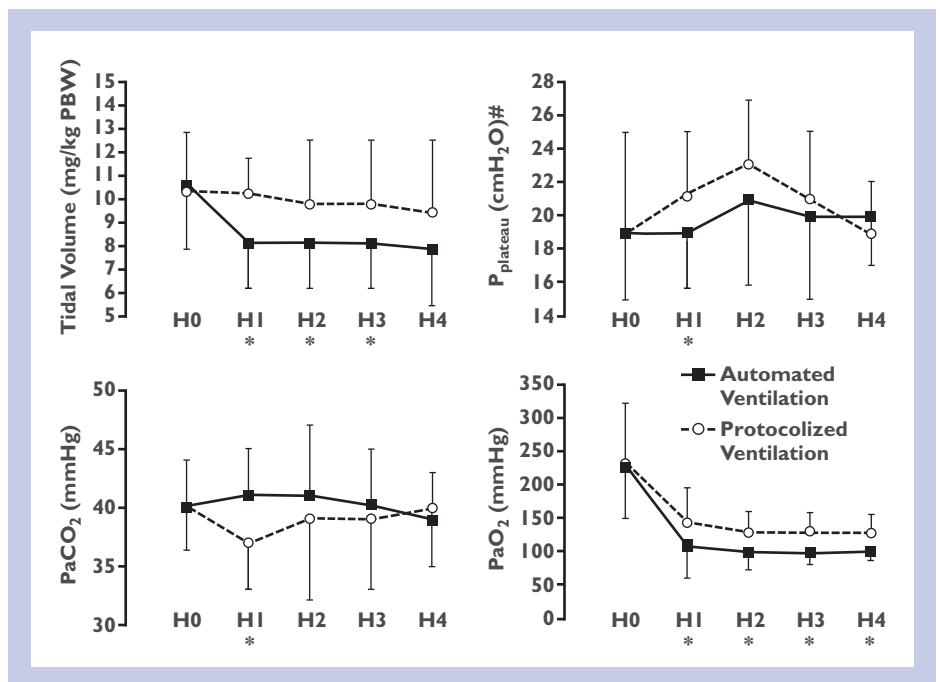


Abbildung 5: Beatmungsparameter bei kardi chirurgischen Patienten mit automatischer bzw. manueller Ventilation¹¹

LITERATUR

- 1 Moehrer O et al. Anästhesist 2008; 57: 998-1005
- 2 Kirakli C et al. Chest 2015; 147: 1503-1509
- 3 Burns KE et al. Am J Respir Crit Care Med 2013; 187: 1203-1211
- 4 Clavieras N et al. Anesthesiology 2013; 119: 631-641
- 5 Arnal JM et al. Critical Care 2013; 17: R196
- 6 Rose L et al. Crit Care 2015; 19: 48. doi: 10.1186/s13054-015-0755-6.
- 7 Beijers AJ et al. Intensive Care Med 2014; 40: 752-753
- 8 Arnal JM et al. 2012 Intensive Care Med 38: 781-787
- 9 De Graf et al. Intensive Care Med 2011; 37: 46
- 10 Talmor D et al. N Engl J Med 2008; 359: 2095-2104
- 11 Lellouche F 2013 Anesthesiology 39: 463

