



by anandic

# Lungenprotektive Beatmung im OP

Die mechanische Beatmung ist eine essentielle Therapie bei der Allgemeinanästhesie. Jedoch kann die mechanische Beatmung auch zu einer Verschlechterung der Oxygenierung und des Gasaustausches beitragen – vor allem als Folge von Atelektasen. In diesem Artikel werden die verschiedenen Standpunkte und Ansätze im Hinblick auf die Prävention von Atelektasen während der Allgemeinanästhesie erörtert. Abschließend werden unsere neusten Technologielösungen vorgestellt, die speziell entwickelt wurden, um durch kontinuierliche Überwachung einen besseren Informationsstand zu erhalten. Diese Datenanalysen können zu einer Optimierung der Patientenversorgung beitragen.

## Atelektasen während der Allgemeinanästhesie

Weltweit werden pro Jahr mehr als 200 Millionen Patienten einer Allgemeinanästhesie zugeführt und mechanisch beatmet.<sup>1-4</sup> Grundsätzlich ist die Allgemeinanästhesie ein wirksames Verfahren, um chirurgische Eingriffe zu ermöglichen, und die mechanische Beatmung ist ein wichtiger Bestandteil davon. Allerdings kann die mechanische Beatmung auch zu einer Beeinträchtigung der Oxygenierung und des Gasaustausches beitragen, verursacht vor allem durch Atelektasen, d. h. den partiellen oder vollständigen Kollaps der gesamten Lunge oder von Lungenlappen.<sup>5,6</sup> Eine Atelektase tritt schätzungsweise innerhalb von Minuten nach der Narkoseeinleitung auf und kann sich bei bis zu 90 % der Patienten bis in die postoperative Phase erstrecken; sie ist somit eine der häufigsten Komplikationen im Operationssaal.<sup>4-6</sup> Eine Kompression von Lungengewebe, die Absorption von alveolärer Luft und die funktionelle Beeinträchtigung der Surfactantfunktion sind drei physiologische Mechanismen,<sup>5,6</sup> die das Auftreten von Atelektasen bei der Allgemeinanästhesie begünstigen können.

- **Eine Kompressionsatelektase** tritt auf, wenn sich das Zwerchfell kranial verlagert und entspannt hat, wodurch es den Druckunterschied zwischen dem Thorax- und dem Abdominalraum weniger wirksam aufrechterhalten kann. Dies führt zu einer Verringerung des transmuralen Drucks, was wiederum eine Ausdehnung der Alveolen in einem Ausmaß bewirkt in dem ein Kollaps möglich wird.
- **Eine Resorptionsatelektase** entsteht, wenn ein großes Stickstoffvolumen in den Lungen durch Sauerstoff ersetzt wird. Der Sauerstoff wird anschließend vom Blut absorbiert, wodurch die Alveolen verkleinert werden und ein alveolärer Kollaps entsteht.
- **Eine Atelektase aufgrund von Surfactant-Mangel** tritt auf, wenn der Lungen-Surfactant, der die große Alveolenfläche bedeckt, durch den Kontakt mit Anästhetika beeinträchtigt wird. Ein solcher Kontakt kann die stabilisierende Wirkung des Surfactants vermindern und zu einem alveolären Kollaps führen.

Neben den drei physiologischen Mechanismen können die folgenden Verfahren und patientenbedingten Faktoren die Entstehung von Atelektasen begünstigen:

Verfahrensbedingte Faktoren	Patientenbedingte Faktoren
Thorax- und abdominal-chirurgischer Eingriffe	Alter
Körperlage	Erhöhter Body-Mass-Index
Kardiopulmonaler Bypass	Rauchen
Erhöhter intra-abdomineller Druck	Schwangerschaft

Während der Allgemeinanästhesie auftretende Atelektasen erhöhen das Risiko von postoperativen Lungenkomplikationen (PPC, postoperative pulmonary complications). Während die Häufigkeit von PPC bis zu 23 % variieren kann<sup>2</sup>, hat sich gezeigt, dass eine beeinträchtigte Lungenfunktion eine Steigerung der folgenden Aspekte zur Folge hat:

- (a) kurz- und langfristige Mortalität
- (b) Morbidität
- (c) medizinische Behandlungskosten<sup>2</sup>

Durch PPC alleine entstand eine Mortalitätsrate von 11,9 % bei Patienten, die einem abdominalen Eingriff unterzogen wurden. Ferner steht damit ein längerer postoperativer Aufenthalt auf der Intensivstation (7,1 Tage statt 4,5 Tage) mit Mehrkosten von 25.498 US\$ in Verbindung.<sup>7</sup>

## Lungenprotektive Beatmung während der Operation: Überblick über die klinische Evidenz

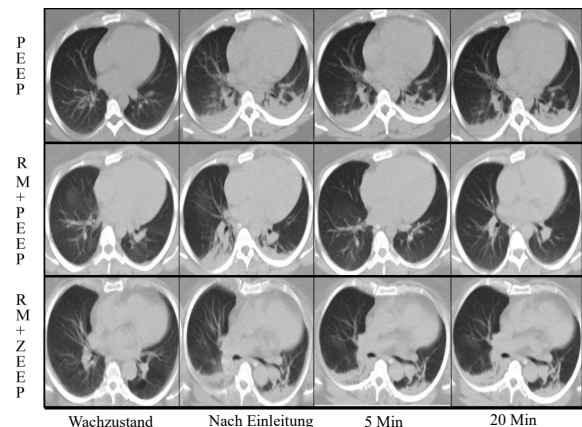
Während Übereinstimmung dahingehend herrscht, dass Atelektasen während der Allgemeinanästhesie ein klinisches Problem mit Auswirkungen auf die Gesundheit und die Behandlungskosten darstellen, existieren unterschiedliche Standpunkte und Lehrmeinungen in Bezug auf die Fragestellung, wie Atelektasen während der Allgemeinanästhesie vermieden werden können.

Protektive Beatmungsstrategien wurden bei der Intensivversorgung bereits angewendet und können auf den Operationssaal übertragen werden, um das postoperative Outcome zu verbessern. Es gibt immer mehr Evidenz, die dafür sprechen, dass lungenprotektive Beatmungsstrategien (LPV-Strategien, Lung Protective Ventilation), bei denen niedrige Tidalvolumina (VT), ein moderater PEEP und Rekrutierungsmanöver (RM) angewendet werden, einen intraoperativen Schutz bieten und die Häufigkeit von PPC reduzieren können.<sup>1,2,4-6</sup> Dies kann wiederum zu besseren physiologischen und klinischen Outcomes nach operativen Eingriffen führen. Die Rolle und Möglichkeiten dieser Strategien alleine müssen allerdings noch näher untersucht werden. Reinius et al. zeigten auf, dass bei morbid-adipösen Patienten separat angewendete(r) PEEP und Rekrutierungsmanöver keine Reduzierung der Atelektasehäufigkeit bewirkten.<sup>8</sup>

Die Durchführung eines Rekrutierungsmanövers gefolgt von PEEP konnte jedoch in einigen Fällen eine Öffnung der atelektatischen Lungenareale, eine verbesserte arterielle Oxygenierung und eine Verbesserung der Compliance des respiratorischen Systems erzielen.<sup>8</sup>

### Lungenrekrutierungsmanöver

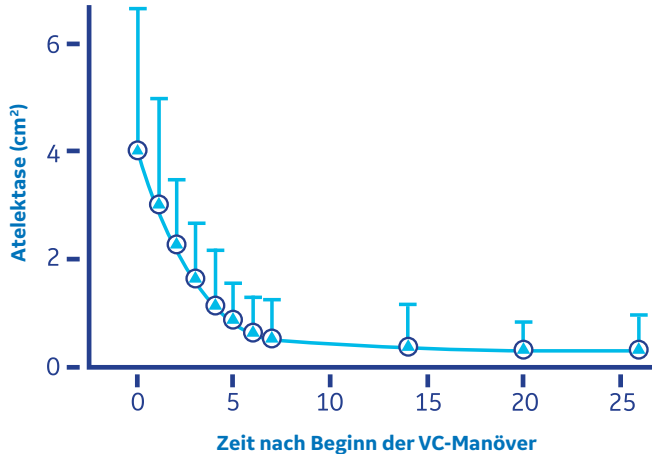
Rekrutierungsmanöver (RM) dienen zum Öffnen von kollabierten Alveolen durch Applikation einer vorübergehenden Erhöhung des transpulmonalen Drucks. Im folgenden Abschnitt beschäftigen wir uns mit der aus einem Schritt und aus mehreren Schritten bestehenden Rekrutierung im Rahmen einer intraoperativen protektiven Beatmungsstrategie.



Repräsentative CT-Bilder der Lungen für jede der drei Gruppen (PEEP, RM+PEEP und RM+ZEEP) zu vier Zeitpunkten (Wachzustand, nach Einleitung, 5 Minuten und 20 Minuten nach Einleitung). ZEEP = Zero End-Expiratory Pressure (Endexpiratorischer Druck von Null).<sup>8</sup>

## Vital Capacity: Rekrutierungsmanöver mit einem Schritt

Das manuelle „Zusammendrücken des Handbeatmungsbeutels“ bzw. das Vital-Capacity-Manöver (VC-Manöver) und das Aufrechterhalten eines definierten Atemwegsdrucks über einen bestimmten Zeitraum haben sich in einigen Fällen als wirksam erwiesen. Bei neurochirurgischen Eingriffen oder Augenoperationen bei Erwachsenen konnte das Blähen der gesunden Lungen auf 40 cm H<sub>2</sub>O des zuvor kollabierten Lungengewebes innerhalb der ersten 7–8 Sekunden des VC-Manövers wieder eröffnen.<sup>9</sup> Das unten gezeigte Diagramm zeigt das Ausmaß der Atelektasen im Vergleich zu den entsprechenden arteriellen Blutgasmessungen vor und nach dem „Blähen“, das spätestens 15 Minuten nach Einleitung der Anästhesie angewendet und für 26 Sekunden gehalten wurde.<sup>9</sup>



Analyse des arteriellen Bluts vor und nach dem VC-Manöver

	Vorher	Nachher	p
pH	7.44 (0.03)	7.44 (0.04)	0.20
Pa <sub>CO<sub>2</sub></sub> (kPa)	4.80 (0.6)	4.70 (0.7)	0.30
Pa <sub>O<sub>2</sub></sub> (kPa)	17.2 (4.0)	22.2 (6.0)	.013
Sa <sub>O<sub>2</sub></sub> (%)	98.3 (0.9)	98.7 (0.5)	0.10
Bikarbonat (mEq/L <sup>1</sup> )	24.6 (1.2)	24.8 (1.1)	0.50
BE (mEq L <sup>1</sup> )	0.10 (1.4)	0.20 (1.1)	0.90

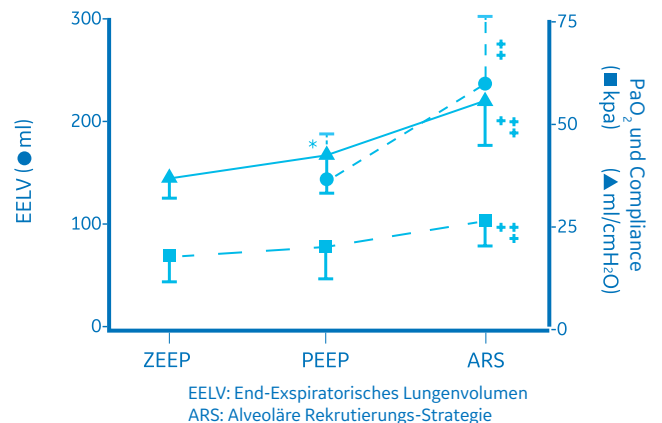
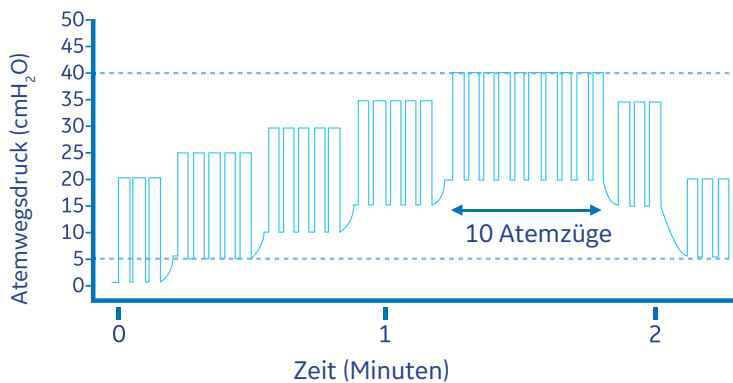
Zwar gibt es keine Methode, die für alle Patienten geeignet ist, jedoch deutet eine aktuelle Metaanalyse auf folgende Zusammenhänge hin:

1. Eine Reduzierung der FiO<sub>2</sub> bei Patienten, bei denen eine Reduzierung klinisch möglich ist, kann eine ausreichende Oxygenierung ermöglichen und gleichzeitig der Entstehung einer Atelektase entgegenwirken.
2. Ein VC-Manöver (+40 cm H<sub>2</sub>O über 15 Sekunden) in Verbindung mit einem PEEP (+10 cm H<sub>2</sub>O) kann die Entstehung von Atelektasen und postoperativen Komplikationen wirksam verhindern.

Auch andere Vital-Capacity-Rekrutierungsstrategien haben sich als vorteilhaft erwiesen. Die Ergebnisse der Studie „Intraoperative Protective Ventilation“ (IMPROVE) deuten darauf hin, dass eine prophylaktische lungenprotektive Beatmungsstrategie (in diesem Fall ein VT von 6–8 ml/kg idealem Körpergewicht, PEEP von 6–8 cm H<sub>2</sub>O und ein Rekrutierungsmanöver von 30 cm H<sub>2</sub>O über 30 Sekunden und mit einer Wiederholung alle 30 Minuten) in einigen Fällen zu einer Verringerung der Anzahl postoperativer Komplikationen beitragen kann.<sup>10</sup>

## Cycling: Rekrutierungsmanöver in mehreren Schritten

Während sich aus einem Schritt bestehende Strategien mit anhaltendem Blähen als wirksam erwiesen haben, gibt es die Möglichkeit von Rekrutierungsmanövern mit mehreren Schritten, die ebenfalls sinnvoll sein können. Rekrutierungsmanöver, bei denen eine schrittweise Erhöhung des Atemwegsdrucks und/oder PEEP angewendet wird, sind als multi-step RM bekannt. Diese RM ermöglichen eine allmählichere Zunahme des transpulmonalen Drucks. Eine multi-step RM-Strategie bei der druckkontrollierten Beatmung (Beatmungsfrequenz von 15, I:E-Verhältnis von 1:1 und schrittweise PEEP-Erhöhung um 5 cm H<sub>2</sub>O ausgehend von 0 cm H<sub>2</sub>O bis 20 cm H<sub>2</sub>O) hatte eine Verbesserung der arteriellen Oxygenierung, des expiratorischen Lungenvolumens und der Lungen-Compliance bei Patienten zur Folge, die sich einer offenen Operation im unteren Abdominalbereich unterzogen.<sup>11</sup> Die Strategie der alveolären Rekrutierung ist unten als Übersicht dargestellt. Wie anhand der Daten erkennbar, wurde nach den multi-step RM der Totraum verringert, die CO<sub>2</sub>-Elimination erhöht und die Effizienz der Beatmung bei den Patienten verbessert.<sup>11</sup>



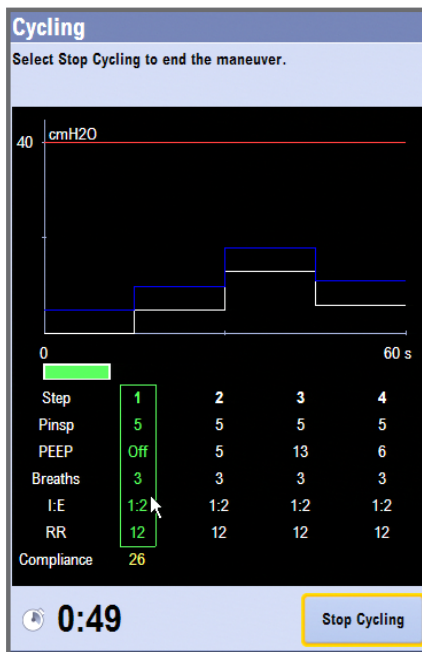
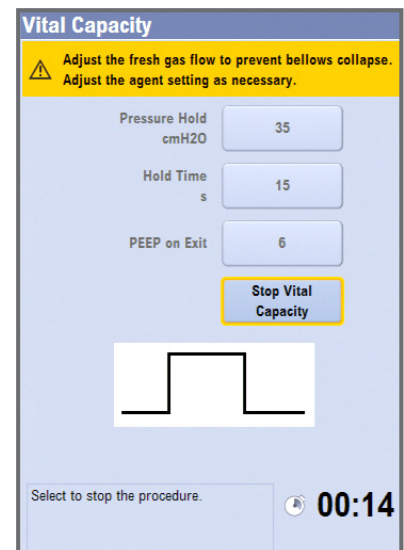
# Technologielösungen von GE Healthcare für die lungenprotektive Beatmung

## Automatisierte Lungen-Rekrutierungs-Manöver: Vereinfachte Verfahren bieten wertvolle Unterstützung bei der Patientenversorgung.

Die neuesten Anästhesiesysteme von GE Healthcare wurden entwickelt, um die Verfahren zu vereinfachen und das Anästhesieteam dabei zu unterstützen, eine wirksamere Patientenversorgung zu gewährleisten. In den jüngsten Softwareversionen der Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> und der Carestation Serie 600 wurden Lungenrekrutierungs-Manöver automatisiert. Sie sind abrufbar in der Rubrik „Prozeduren“ unter der Bezeichnung „Vital Capacity“ und „Cycling“. Diese automatischen Funktionen gestatten dem Anästhesieteam eine korrekte und zugleich effiziente Durchführung der Verfahren.

### Vital Capacity

Die Funktion „Vital Capacity“ automatisiert das manuelle „Blähen und Halten“ des Beatmungsbeutels und bietet eine einfache Methode, um einen druckunterstützten Atemhub zu verabreichen, ohne mehrere Änderungen an den Einstellungen des Beatmungsgeräts vornehmen zu müssen. Die Einstellung „PEEP on Exit“ (PEEP bei Beenden) bietet eine Methode zum automatischen Ändern der PEEP-Einstellung des Beatmungsgerätes am Ende des Vital-Capacity-Manövers.



### Cycling

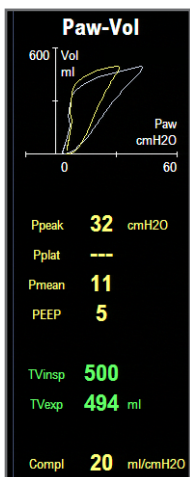
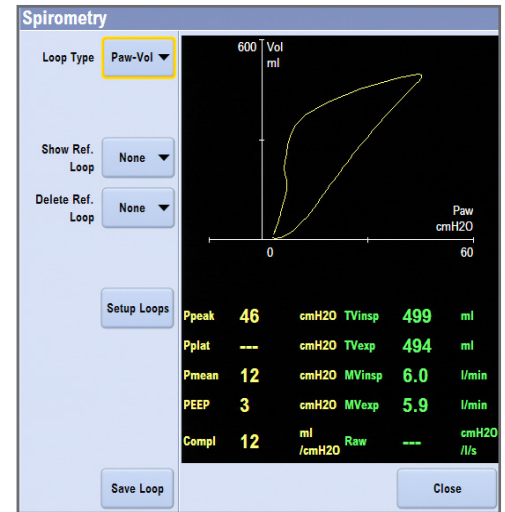
Mit der Funktion „Cycling“ wird das aus mehreren Schritten bestehende Rekrutierungsmanöver automatisiert. Mit dieser automatischen und programmierbaren Funktion kann das Anästhesieteam die PEEP-Werte während der mechanischen Beatmung erhöhen oder verringern. Die Cycling-Funktion bietet eine flexible Methode zur Verabreichung von druckkontrollierten Atemhüben während der Beatmung, ohne mehrere Einstellungen am Beatmungsgerät ändern zu müssen. Es stehen vier Cycling-Profile mit bis zu sieben programmierten Schritten zur Verfügung. Die vorgegebenen Schritte und Beatmungseinstellungen für jedes Manöver können vom Super User vorprogrammiert werden. Die Beatmungseinstellungen für jeden Schritt können vom Anwender vor Beginn eines Manövers geändert werden. In der neusten Version der Aisys CS<sup>2</sup> Software wird der aktive Schritt in einem grünen Rahmen zusammen mit den als Trend dargestellten Compliance-Messungen angezeigt, die die Wirksamkeit der automatisierten Lungenmanöver in Echtzeit wiedergeben.

## Patientenspirometrie: Lungen-Compliance als Grundparameter zur Beurteilung der Wirksamkeit der Rekrutierung während der Anästhesie.

Die Lungen-Compliance spiegelt die Dehnbarkeit des Atmungssystems wieder. Sie wird definiert als der Druckunterschied, der erforderlich ist, um die Lunge um ein bestimmtes Volumen zu dehnen. Die dynamische Lungen-Compliance wird ermittelt, indem das VT durch die Differenz zwischen PIP und PEEP geteilt wird:  $\text{Dynamische Compliance} = \text{VT}/(\text{PIP} - \text{PEEP})$ . Dieser kontinuierliche dynamische Wert bietet dem Arzt einen einfachen Parameter zur Kontrolle, der die Atmung betreffenden Veränderungen.

Ein Anstieg der Lungen-Compliance unmittelbar nach Anwendung eines alveolären Rekrutierungsmanövers würde vermutlich auf eine Verringerung der Atelektasen und eine Zunahme der PaO<sub>2</sub> hindeuten, da Ventilation und Perfusion besser aufeinander abgestimmt sind.

Die Patientenspirometrie-Funktion der GE Anästhesiesysteme Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> und der Carestation 600 Serie misst den Atemwegsdruck, den Flow, die Volumina, die Compliance und den Atemwegswiderstand, Atemzug für Atemzug, am Atemweg des Patienten. Die dynamische Wechselbeziehung zwischen Druck und Volumen, Flow und Volumen sowie Druck und Flow wird jeweils als Schleifengrafik dargestellt.



Diese Abbildung zeigt die Auswirkungen unterschiedlicher PEEP-Einstellungen (und somit der Rekrutierungsmanöver) auf die Compliance des Patienten. Die gespeicherte (weiße) Schleife zeigt die verringerte Compliance. Die Situation ändert sich durch Erhöhung des PEEP-Wertes auf 5 cmH<sub>2</sub>O, wodurch die Lungen-Compliance (gelb) deutlich verbessert wird.

Während eines Cycling-Manövers wird der dynamische Compliance-Wert für jeden PEEP-Wert angezeigt, so dass der Kliniker erkennen kann, wann die Rekrutierung erreicht wurde und welches der optimale PEEP-Wert für diesen Patienten ist.

## Pulse Pressure Variation (PPV) und Systolic Pressure Variation (SPV): Kontinuierliche Überwachung der hämodynamischen Stabilität des Patienten.

Überdruckbeatmung verursacht Blutdruckschwankungen im Thorax. Der Blutdruck nimmt in der inspiratorischen Phase zu und in der expiratorischen Phase ab. Das Ausmaß dieser Schwankungen hängt vom Volumenstatus des Patienten ab. Bei hypovolämischen Patienten sind diese Schwankungen stärker ausgeprägt als bei normovolämischen oder hypervolämischen Patienten. Dies ist ein bekanntes Phänomen.

Die Messung der Pulse Pressure Variation (PPV) und der Systolic Pressure Variation (SPV) mit den CARESCAPE Patientenmonitoren (B850, B650 und B450) in Verbindung mit Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> und Carestation 600 Serie von GE Healthcare kann zur wirksamen Anwendung einer personalisierten Lungenprotektionsstrategie herangezogen werden. PPV und SPV sind klinische Entscheidungshilfen, die nützlich sein können, um eine durch positiven endexpiratorischen Druck und die Anwendung von Rekrutierungsmanövern hervorgerufene hämodynamische Instabilität vorherzusagen.

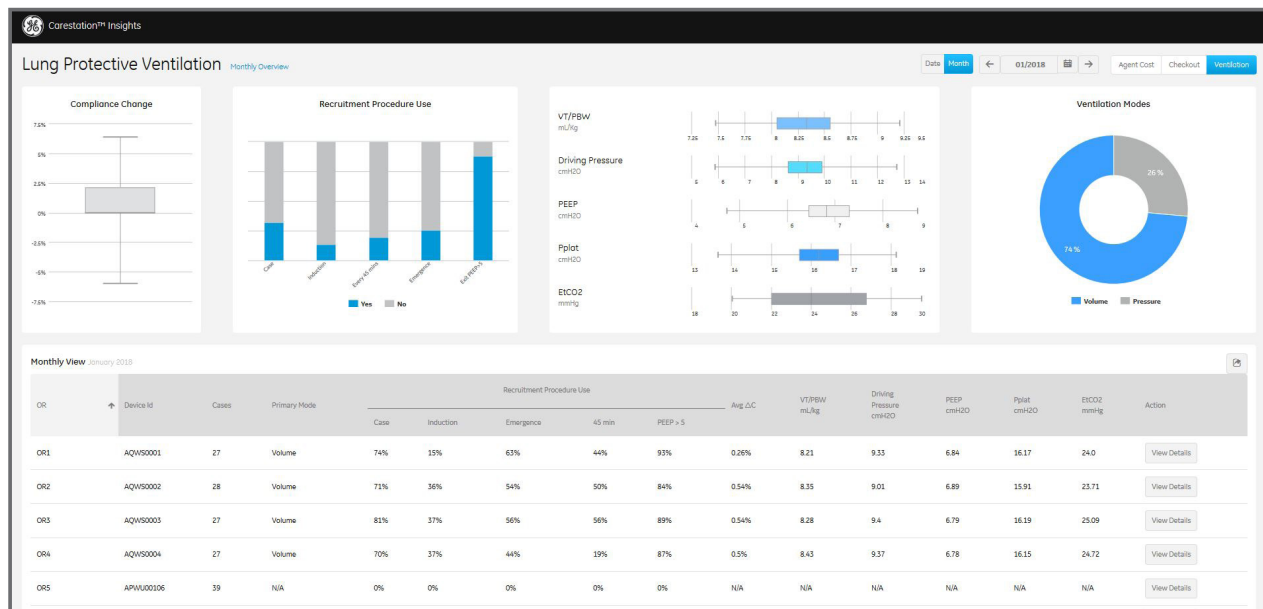
Ein Anstieg des intrathorakalen Drucks kann die rechtsventrikuläre Nachlast verstärken, die intrathorakalen Venen komprimieren und das Herzzeitvolumen herabsetzen. Die Lungen können auch einen komprimierenden Effekt auf das Herz ausüben und die Herz-Compliance beeinträchtigen. Die schwankende kardiale Last kann sich im PPV und im SPV niederschlagen. Deshalb können PPV- und SPV-Werte den Kliniker bei Entscheidungen hinsichtlich der möglichen Auswirkung der Lungen-Rekrutierung auf die Hämodynamik unterstützen.

## Carestation Insights: Analyse von Anästhesiedaten für aufschlussreiche Erkenntnisse über die Beatmung und das Ansprechen der Lunge.

Carestation Insights ist eine cloud-basierte Plattform von Analyseprogrammen, die das Anästhesieteam dabei unterstützen, datenbasierte Entscheidungen zu treffen, um das Outcome zu verbessern. Die Applikation analysiert über 300 Datenpunkte unter Einbeziehung von Beatmungswerten, Gaswerten, Alarmen, Fehlercodes und Gerätestatus.

Die Anwendung „Lung Protective Ventilation“ (Lungenprotektive Beatmung) zeichnet die Beatmungseinstellungen und Ergebnisse für alle angeschlossenen Anästhesiesysteme auf. Sie liefert Krankenhäusern Daten zur Weiterentwicklung ihrer Lungenprotektionsmaßnahmen, um die klinischen Outcomes zu verbessern und postoperativen Komplikationen entgegenzuwirken.

Diese Anwendung liefert die notwendigen Daten, um Veränderungen voranzutreiben. Sie stellt einen Trackingmechanismus für kontinuierliche Daten und Trends zu den wichtigsten Beatmungseinstellungen und -parametern bereit und gestattet eine Überprüfung der Einhaltung der LPV-Protokolle auf Abteilungsebene. Ferner kann die Darstellung des Ursache-Wirkungs-Verhältnisses zwischen den Beatmungseinstellungen und dem intraoperativen Patienten-Outcome durch klarere Anzeige der Lungen-Compliance-Veränderungen helfen, das Anästhesieteam hinsichtlich ihrer Praktiken und deren Auswirkungen auf die Behandlungsergebnisse besser aufzuklären.



GE Healthcare bietet eine ganzheitliche Lösung an, um jeden Aspekt einer lungenprotektiven Beatmungsstrategie zu überwachen, anzuwenden und umzusetzen. Um zu bestimmen, welche Lösung von GE für Sie am besten geeignet ist, wenden Sie sich an Ihren Ansprechpartner bei GE Healthcare, oder besuchen Sie [www.gehealthcare.com](http://www.gehealthcare.com).



by anandic

## Literaturverweise

1. E. Futier, E. Marret, S. Jaber, *Perioperative positive pressure ventilation: an integrated approach to improve pulmonary care. Anesthesiology* 121, 400-408 (2014).
2. A. Miskovic, A. B. Lumb, *Postoperative pulmonary complications. Br J Anaesth* 118, 317-334 (2017).
3. N. M. Goldenberg, B. E. Steinberg, W. L. Lee, D. N. Wijeyesundera, B. P. Kavanagh, *Lung-protective ventilation in the operating room: time to implement? Anesthesiology* 121, 184-188 (2014).
4. A. Güldner et al., *Intraoperative protective mechanical ventilation for prevention of postoperative pulmonary complications: a comprehensive review of the role of tidal volume, positive end-expiratory pressure, and lung recruitment maneuvers. Anesthesiology* 123, 692-713 (2015).
5. M. Duggan, B. P. Kavanagh, *Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity. Anesthesiology* 102, 838-854 (2005).
6. L. Magnusson, D. R. Spahn, *New concepts of atelectasis during general anaesthesia. Br J Anaesth* 91, 61-72 (2003).
7. L. A. Fleisher, W. T. Linde-Zwirble, *Incidence, outcome, and attributable resource use associated with pulmonary and cardiac complications after major small and large bowel procedures. Perioper Med (Lond)* 3, 7 (2014).
8. H. Reinius et al., *Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study. Anesthesiology* 111, 979-987 (2009).
9. H. U. Rothen et al., *Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. Br J Anaesth* 82, 551-556 (1999).
10. E. Futier et al., *A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. N Engl J Med* 369, 428-437 (2013).
11. G. Tusman, S. H. Böhm, F. Suarez-Sipmann, E. Turchetto, *Alveolar recruitment improves ventilatory efficiency of the lungs during anesthesia. Can J Anaesth* 51, 723-727 (2004).

## Imagination at work