



# Ventilazione polmonare protettiva in sala operatoria

La ventilazione meccanica è una terapia di supporto essenziale durante l'anestesia generale. Tuttavia, la ventilazione meccanica può contribuire ad alterare ossigenazione e scambio di gas, soprattutto per effetto dell'atelettasia. In questo articolo, discutiamo le diverse opinioni e i diversi approcci atti a prevenire il collasso polmonare durante l'anestesia generale. Concludiamo introducendo le nostre soluzioni tecnologiche più recenti mirate a semplificare il flusso di lavoro, fornire una panoramica completa attraverso il monitoraggio continuo e aiutare i clinici ad ottimizzare la cura del paziente attraverso un'analisi avanzata dei dati.

## L'atelettasia durante l'anestesia generale

A livello globale, più di 200 milioni di pazienti sono sottoposti ad anestesia generale e ricevono una ventilazione meccanica ogni anno.<sup>1-4</sup> Nel complesso, l'anestesia generale rappresenta un metodo efficace per consentire l'esecuzione di interventi chirurgici e la ventilazione meccanica è essenziale durante l'anestesia generale. Tuttavia, la ventilazione meccanica può anche contribuire alla compromissione dell'ossigenazione e dello scambio di gas, principalmente per effetto dell'atelettasia – collasso parziale o totale di tutto il polmone o di alcuni lobi.<sup>5,6</sup> Si stima che l'atelettasia si verifichi dopo pochi minuti dall'induzione dell'anestesia: un fenomeno che si può prolungare nel periodo postoperatorio per il 90% dei pazienti, il che la rende una delle complicanze più comuni in sala operatoria.<sup>4,6</sup> La compressione del tessuto polmonare, l'assorbimento dell'aria alveolare e la compromissione della funzione del surfattante sono i tre meccanismi fisiologici<sup>5,6</sup> che possono contribuire allo sviluppo dell'atelettasia durante l'anestesia generale.

- **L'atelettasia compressiva** si verifica quando il diaframma si sposta in direzione cefalica ed è rilassato e quindi meno efficace nel mantenimento delle pressioni differenziali tra le cavità toracica e addominale. Ciò provoca una riduzione della pressione trasmurale, che a sua volta distende l'alveolo consentendogli di collassare.
- **L'atelettasia da assorbimento** si verifica quando un grande volume di azoto nei polmoni viene sostituito dall'ossigeno. L'ossigeno può essere successivamente assorbito nel sangue, riducendo il volume degli alveoli con conseguente collasso alveolare.
- **L'atelettasia da perdita di surfattante** si verifica quando il surfattante polmonare che ricopre la grande superficie alveolare viene compromesso durante l'esposizione all'anestesia. Questa esposizione può inibire la funzione stabilizzante del surfattante e portare al collasso alveolare.

Oltre ai tre meccanismi fisiologici, alcuni fattori procedurali (che non pretende di rappresentare un elenco esaustivo) oltre a fattori relativi al paziente possono influire sulla formazione di atelettasie:

Fattori procedurali	Fattori correlati al paziente
Chirurgia toracica e addominale	Età
Posizione del corpo	Aumento dell'indice di massa corporea
Bypass cardiopolmonare	Tabagismo
Maggiore pressione intra-addominale	Gravidanza

L'insorgenza dell'atelettasia durante l'anestesia generale contribuisce allo sviluppo di complicanze polmonari postoperatorie (CPP). Mentre i tassi di incidenza delle CPP variano fino al 23%,<sup>2</sup> è stato dimostrato che la compromissione della funzione polmonare aumenta:

- (a) mortalità a breve e lungo termine
- (b) morbilità
- (c) costi di assistenza sanitaria<sup>2</sup>

Le sole CPP hanno contribuito a un tasso di mortalità dell'11,9% in pazienti sottoposti a procedure gastrointestinali. In più, all'aumentare della degenza postoperatoria in ICU tra 4,5 e 7,1 giorni corrisponde un incremento dei costi pari a \$ 25.498.<sup>7</sup>

## Ventilazione polmonare protettiva intra-operatoria: sintesi delle evidenze cliniche

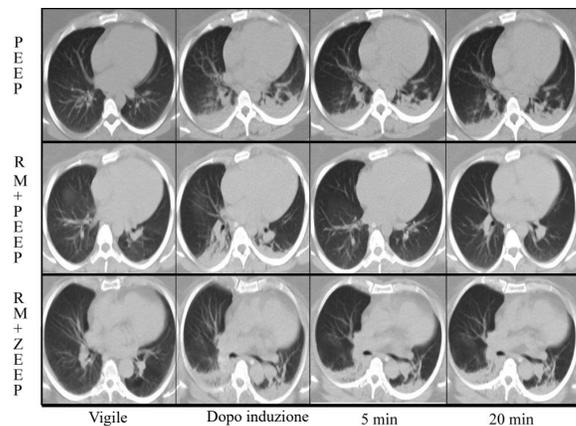
Mentre esiste un consenso sul fatto che l'atelettasia durante l'anestesia generale sia un problema clinico con un impatto sanitario e finanziario, riguardo ai metodi atti a prevenire il collasso polmonare durante l'anestesia generale vi sono una moltitudine di opinioni e scuole di pensiero.

In medicina intensiva sono state adottate diverse strategie di ventilazione protettiva che possono essere applicate in sala operatoria con l'obiettivo di migliorare i risultati post-operatori. Vi sono sempre più prove del fatto che le strategie profilattiche di ventilazione polmonare protettiva (VPP) che prevedono l'uso di un basso volume corrente (VT), PEEP e manovre di reclutamento (MR) moderate sono in grado di garantire protezione intraoperatoria riducendo l'incidenza delle CPP.<sup>1, 2, 4-6</sup> Ciò può determinare un miglioramento degli esiti postoperatori fisiologici e clinici. Tuttavia, il ruolo e la capacità delle singole strategie devono ancora essere pienamente compresi. Reinius et al. hanno dimostrato che in pazienti affetti da obesità, PEEP e manovre di reclutamento, se applicate individualmente, non hanno ridotto l'atelettasia.<sup>8</sup>

Tuttavia, in alcuni casi una manovra di reclutamento seguita da PEEP ha effettivamente aperto aree atelettasiche del polmone, migliorando l'ossigenazione arteriosa, e aumentando la compliance del sistema respiratorio.<sup>8</sup>

### Manovre di reclutamento polmonare

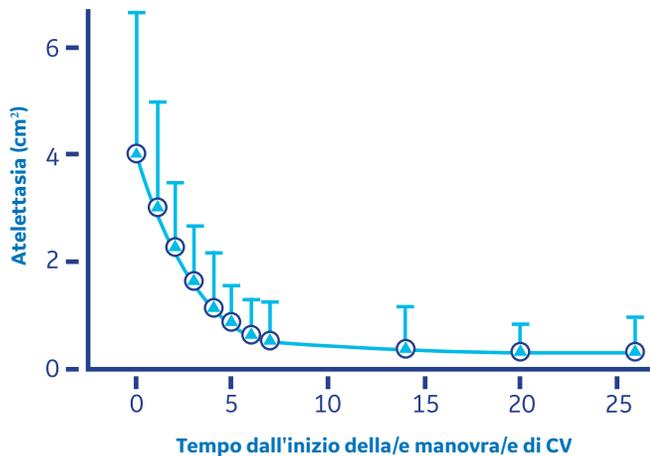
Le manovre di reclutamento (MR) mirano ad aprire gli alveoli collassati provvedendo a un aumento temporaneo della pressione transpolmonare. Nella sezione che segue, ci concentreremo sul reclutamento a fase singola e a fasi multiple nell'ambito di una strategia intra-operatoria di ventilazione meccanica protettiva.



Immagini polmonari rappresentative da TC in ciascuno dei tre gruppi (PEEP, MR+PEEP, e MR+ZEEP) in quattro momenti diversi (paziente sveglio, dopo induzione, dopo 5 minuti e dopo 20 minuti dall'avvenuta induzione). ZEEP = pressione zero di fine espirazione.<sup>8</sup>

## Capacità vitale: manovra di reclutamento a fase singola

In alcuni casi, si sono rivelati efficaci il metodo del “sospirone” manuale con pallone o quello della Capacità Vitale (CV) per applicare e mantenere una determinata pressione di insufflazione per un tempo specifico. In pazienti sottoposti a interventi di neurochirurgia o di chirurgia oculare, l'insufflazione di polmoni sani negli adulti con 40 cm di H<sub>2</sub>O ha ri-espanso efficacemente il tessuto polmonare precedentemente collassato entro i primi 7-8 secondi della manovra di CV.<sup>9</sup> Il grafico che segue riporta i valori relativi all'atelettasia associata alle misurazioni di emogas arteriose prima e dopo l'insufflazione manuale, eseguita almeno 15 minuti dopo l'induzione dell'anestesia e mantenuta per 26 secondi.<sup>9</sup>



Analisi del sangue arterioso prima e dopo la manovra di CV

	Prima	Dopo	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
Bicarbonato (mEq litro <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

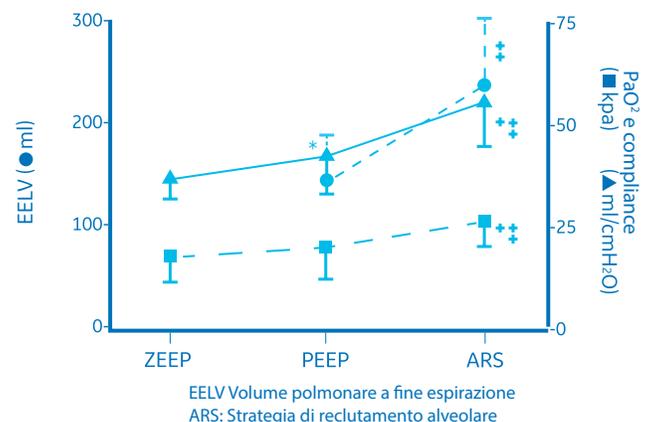
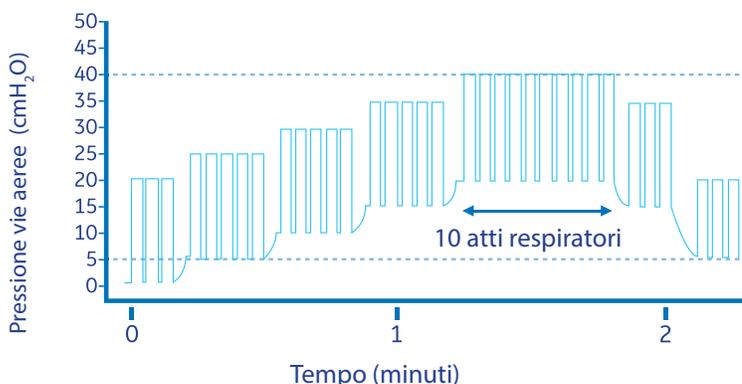
Sebbene non vi siano approcci adatti a tutti i pazienti, una recente meta-analisi ha evidenziato le seguenti osservazioni:

1. La riduzione della FiO<sub>2</sub> nelle popolazioni di pazienti in grado di tollerarla può ancora garantire un'ossigenazione sufficiente riducendo nel contempo la formazione atelettasica.
2. Una manovra di CV (+40 cm H<sub>2</sub>O per 15 secondi) associata a PEEP (+10 cm H<sub>2</sub>O) previene efficacemente la formazione atelettasica e le complicazioni postoperatorie.

Allo stesso modo anche altre strategie di reclutamento con capacità vitale hanno dimostrato di essere vantaggiose. I risultati dello studio Intraoperative Protective Ventilation (IMPROVE) suggeriscono che in alcuni casi una strategia profilattica di ventilazione polmonare protettiva (in questo caso, VT di 6-8 ml/kg di peso corporeo predetto, PEEP di 6-8 cm H<sub>2</sub>O, e una manovra di reclutamento di 30 cm H<sub>2</sub>O per 30 secondi e ripetuta ogni 30 minuti), determina minori complicazioni postoperatorie.<sup>10</sup>

## Cycling: manovra di reclutamento a fasi multiple

Se da un lato le strategie a insufflazione sostenuta a fase singola hanno dimostrato la propria efficacia, dall'altro, anche le manovre di reclutamento a fasi multiple (o graduali) possono risultare vantaggiose. Le manovre di reclutamento che prevedono un aumento incrementale della pressione nelle vie aeree e/o la PEEP sono note come MR graduali. Tali MR consentono un aumento più graduale della pressione transpolmonare. Una strategia di MR graduale nella ventilazione a pressione controllata (frequenza ventilatoria di 15, rapporto I/E di 1:1 PEEP progressivamente aumentata di 5 cm H<sub>2</sub>O da 0 cm H<sub>2</sub>O a 20 cm H<sub>2</sub>O) ha determinato un aumento dell'ossigenazione arteriosa, del volume espiratorio del polmone e della compliance respiratoria in pazienti sottoposti a chirurgia addominale inferiore.<sup>11</sup> La strategia di reclutamento alveolare è riassunta di seguito. Dopo la MR graduale, come mostrato dai dati, nei pazienti lo spazio morto è stato ridotto e l'eliminazione di CO<sub>2</sub> è stata migliorata, così come l'efficienza della ventilazione.<sup>11</sup>



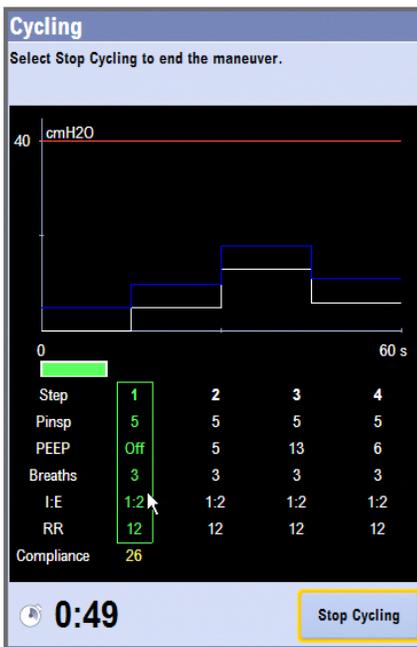
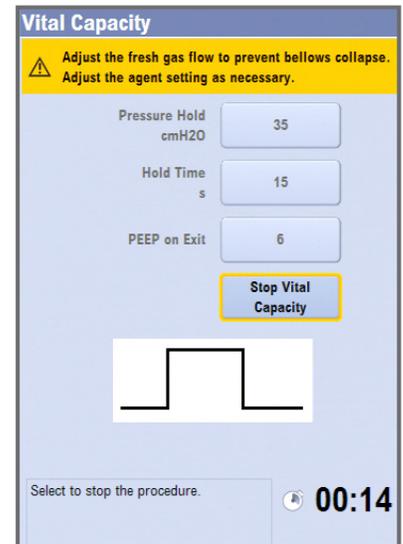
# Le soluzioni tecnologiche per ventilazione polmonare protettiva di GE Healthcare

## Manovre di reclutamento polmonare automatizzate: un flusso di lavoro semplificato mirato ad aiutare i clinici nella cura dei pazienti

I più recenti sistemi di erogazione dell'anestesia di GE Healthcare sono progettati per semplificare il flusso di lavoro e aiutare i clinici a garantire una cura più efficace dei pazienti. Nelle versioni più recenti del software per Anesthesia Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> e Carestation 600 Series di GE, le procedure per le manovre di reclutamento polmonare sono state automatizzate. Vengono identificate con il nome di Vital Capacity e Cycling selezionando il pulsante Procedures (Procedure). Queste funzionalità automatizzate consentono al clinico di eseguire le procedure con maggior precisione ed efficienza.

### Vital Capacity

La funzione Vital Capacity (capacità vitale) automatizza il procedimento di pressione e mantenimento del pallone e permette di erogare pressione senza dover modificare più volte le impostazioni del ventilatore. L'impostazione PEEP on Exit consente di modificare automaticamente l'impostazione della PEEP del ventilatore alla fine della procedura di Capacità Vitale.



### Cycling

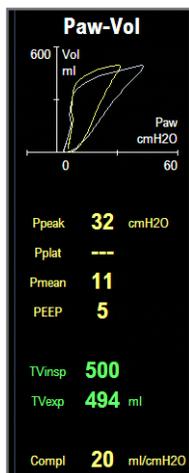
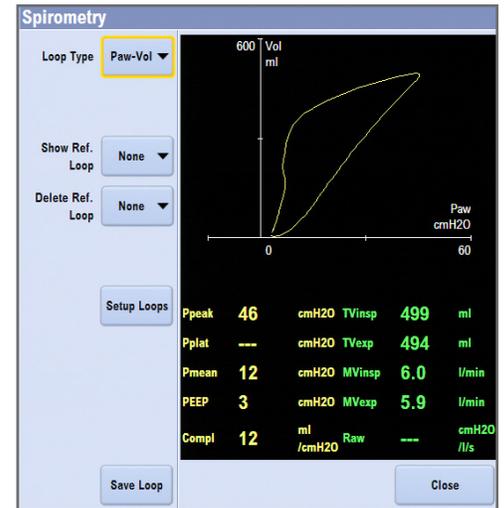
La funzione Cycling automatizza la manovra di reclutamento a fasi multiple. Si tratta di una funzione automatizzata e programmabile che permette ai clinici di aumentare e diminuire i livelli di PEEP durante la ventilazione meccanica. La funzione Cycling offre una modalità flessibile per garantire la respirazione in pressione durante la ventilazione senza modificare più volte le impostazioni del ventilatore. Sono disponibili quattro profili con un massimo di sette fasi preimpostate. Le fasi predefinite di ogni procedura e le impostazioni di ventilazione possono essere preimpostate dal Super User. Le impostazioni di ventilazione di ogni fase possono essere modificate dall'utente prima di iniziare una procedura. Nella versione più recente del software AISYS CS<sup>2</sup>, la fase attiva può essere visualizzata in un riquadro verde insieme alle misurazioni di compliance in trend, che dimostrano l'efficacia delle procedure automatiche polmonari in tempo reale.

## Spirometria del paziente (Spirometry): la compliance polmonare come parametro fondamentale nel valutare l'efficacia del reclutamento durante l'anestesia

La compliance polmonare riflette la distensibilità del sistema respiratorio. Può essere definita quale differenza di pressione necessaria per espandere il polmone per raggiungere un determinato volume. La compliance polmonare dinamica è calcolata dividendo il valore VT per la differenza tra PIP e PEEP: compliance dinamica = VT / (PIP-PEEP). In quanto valore dinamico continuo, rappresenta uno strumento di facile utilizzo grazie al quale il clinico può seguire i cambiamenti respiratori adeguando di conseguenza le impostazioni del ventilatore.

Si presume che un aumento della compliance polmonare subito dopo l'applicazione di una manovra di reclutamento alveolare rifletta una riduzione dell'atelettasia traducendosi in un aumento di PaO<sub>2</sub> dovuto a una migliore corrispondenza tra ventilazione e perfusione.

La spirometria del paziente, funzione presente in GE Anesthesia Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> e Carestation 600 Series, misura la pressione nelle vie respiratorie, il flusso, i volumi, la compliance e la resistenza delle vie aeree, respiro dopo respiro. Le correlazioni dinamiche tra pressione e volume, flusso e volume e pressione e flusso vengono visualizzate come loop grafici.



Questa figura dimostra gli effetti di diverse impostazioni PEEP (e manovre di reclutamento) sulla compliance del paziente. Il loop salvato (bianco) illustra la riduzione della compliance. La situazione appare diversa se si porta l'impostazione della PEEP a 5 cm H<sub>2</sub>O, il che migliora chiaramente la compliance polmonare (giallo).

Durante una procedura di cycling, il valore dinamico della compliance viene visualizzato a ogni livello di PEEP, permettendo così al clinico di comprendere quando vengono raggiunti il reclutamento e il livello di PEEP ottimali per quello specifico paziente.

## Variatione della pressione pulsatoria (dPP) e variazione della pressione sistolica (SPV): monitoraggio continuo della stabilità emodinamica dei pazienti

La ventilazione a pressione positiva porta a cambiamenti di pressione sanguigna nella cavità toracica. La pressione sanguigna aumenta durante la fase di inspirazione e diminuisce durante la fase di espirazione. L'entità di questi cambiamenti dipende dalla quantità di fluidi presenti nel paziente. In pazienti ipovolemici, queste oscillazioni sono più ampie rispetto a quanto si registri in pazienti normovolemici o ipervolemici. Si tratta di un fenomeno ben noto.

Gli indici di la variazione della pressione pulsatoria (dPP) e di variazione della pressione sistolica (SPV) presenti nei monitor CARESCAPE Patient Monitor (B850, B650 e B450) e in Aisys CS<sup>2</sup>, Avance CS<sup>2</sup> e Carestation serie 600 di GE Healthcare possono essere utilizzati per implementare efficacemente una strategia di ventilazione polmonare protettiva individualizzata, paziente-centrica. dPP e SPV sono strumenti clinici decisionali che possono aiutare a prevedere l'instabilità emodinamica indotta dalla pressione positiva di fine espirazione e l'applicazione delle manovre di reclutamento.

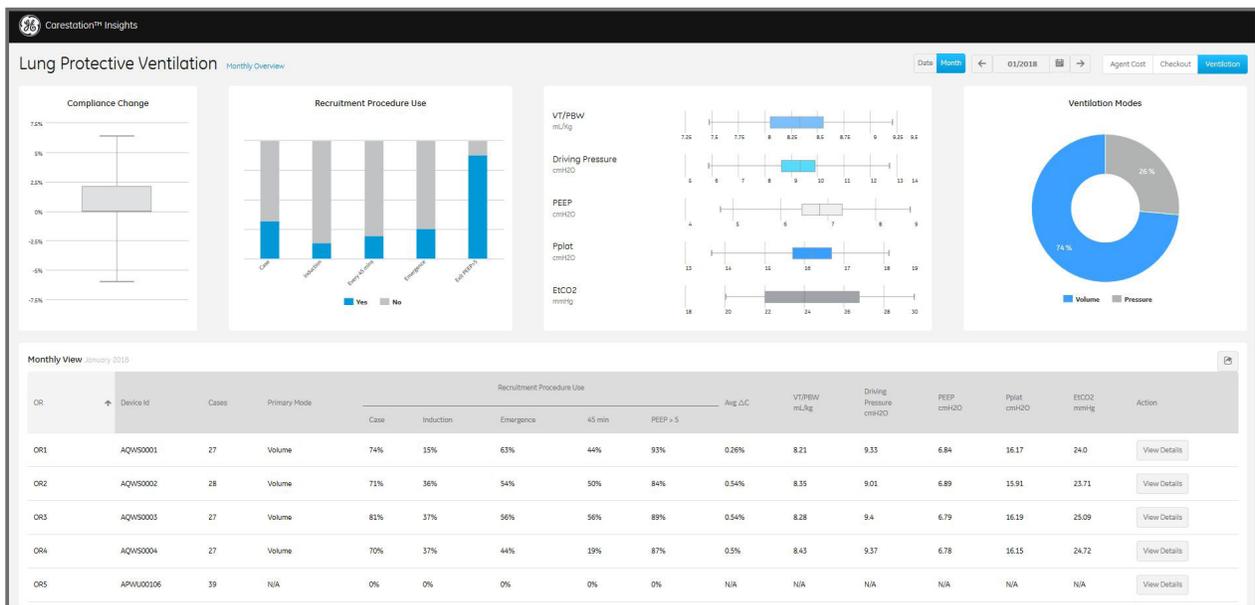
Un aumento nella pressione intratoracica potrebbe aumentare il postcarico ventricolare, comprimere le vene intratoraciche e ridurre la gittata cardiaca. I polmoni possono anche esercitare un effetto di compressione sul cuore e compromettere la compliance cardiaca. La variazione del carico cardiaco può essere riflessa in dPP e in SPV, per cui il clinico può sfruttare i valori di dPP e di SPV per giungere a una migliore decisione per quanto riguarda il potenziale impatto del reclutamento polmonare sull'emodinamica.

## Carestation Insights: l'analisi dei dati relativi all'anestesia per una maggiore comprensione della ventilazione e della risposta polmonare

Carestation Insights è una suite basata su cloud di applicazioni analitiche pensate per aiutare i clinici a prendere decisioni basate sui dati per migliorare gli outcome. Analizza oltre 300 punti dati relativi a valori di ventilazione, gas, allarmi, codici errore e stati della macchina.

L'applicazione Lung Protective Ventilation (Ventilazione polmonare protettiva) rileva le impostazioni di ventilazione e le risposte su tutte le macchine per anestesia collegate. Fornisce i dati necessari a supportare le iniziative di protezione polmonare e a ottenere outcome clinici migliorati contribuendo a ridurre le complicazioni post-operatorie.

Questa applicazione fornisce la visualizzazione utile ai fini di un cambiamento comportamentale. Mette a disposizione uno strumento di monitoraggio dei dati in continuo e dei trend relativo alle impostazioni di ventilazione e ai parametri chiave, consentendo di verificare l'aderenza al protocollo LPV sia in reparto che in sala operatoria. In più, la correlazione tra le impostazioni di ventilazione e l'esito intra-operatorio del paziente con una maggior consapevolezza delle variazioni nella compliance polmonare del paziente possono contribuire a una più adeguata comprensione sull'impatto che la pratica clinica ha sull'outcome dei pazienti.



GE Healthcare offre una soluzione olistica che permette di monitorare, sfruttare e attivare tutti gli aspetti di una strategia di ventilazione polmonare protettiva. Per valutare la soluzione GE che più si addice al caso vostro, contattate il vostro rappresentante GE Healthcare o visitate il sito [www.gehealthcare.com](http://www.gehealthcare.com)



## Bibliografia

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