



Ventilation protectrice du poumon en salle d'opération

La ventilation mécanique apporte un soutien essentiel lors d'une anesthésie générale. Toutefois, elle peut également contribuer à une détérioration de l'oxygénation et des échanges gazeux, due principalement au phénomène d'atélectasie. Cet article analyse les différents points de vue et les approches visant à éviter le collapsus alvéolaire lors d'une anesthésie générale. Nous concluons en présentant nos toutes dernières solutions technologiques conçues pour simplifier le flux de travail, fournir une meilleure visibilité via un monitoring continu, et aider les médecins à mieux soigner leurs patients grâce à des analyses de données avancées.

Atélectasie lors d'une anesthésie générale

Chaque année, plus de 200 millions de patients à travers le monde reçoivent une anesthésie générale associée à une ventilation mécanique.¹⁻⁴ L'anesthésie générale est une solution efficace pour la réalisation d'interventions chirurgicales, et la ventilation mécanique est essentielle pour ce type d'anesthésie. Toutefois, elle peut également contribuer à une détérioration de l'oxygénation et des échanges gazeux, due principalement au phénomène d'atélectasie, c'est-à-dire l'affaissement partiel ou total des lobes pulmonaires ou du poumon entier.^{5,6} L'atélectasie peut survenir quelques minutes seulement après l'induction et peut se poursuivre dans la période post-opératoire pour 90 % des patients, ce qui en fait l'une des complications les plus courantes en salle d'opération.⁴⁻⁶ La compression du tissu pulmonaire, l'absorption de l'air alvéolaire et la détérioration de la fonction du surfactant sont les trois mécanismes physiologiques^{5,6} susceptibles de conduire à l'apparition d'une atélectasie lors d'une anesthésie générale.

- **L'atélectasie de compression** survient lorsque le diaphragme s'est déplacé vers le haut et s'est détendu, ce qui réduit sa capacité à maintenir les niveaux de pression différentielle entre la cage thoracique et la cavité abdominale. Cela entraîne une diminution de la pression transmurale, qui a pour effet de distendre l'alvéole jusqu'à provoquer un affaissement.
- **L'atélectasie d'absorption** survient lorsqu'un volume important d'azote est remplacé par de l'oxygène dans les poumons. L'oxygène peut alors être absorbé par le sang, ce qui réduit le volume des alvéoles et entraîne un collapsus alvéolaire.
- **L'atélectasie de perte de surfactant** survient lorsque le surfactant pulmonaire qui recouvre la surface alvéolaire est altéré lors d'une procédure d'anesthésie. L'anesthésie peut détériorer la fonction de stabilisation du surfactant et produire un collapsus alvéolaire.

Outre les trois mécanismes physiologiques que nous venons de décrire, les facteurs suivants liés au patient ou aux procédures exécutées peuvent contribuer à la survenue d'une atélectasie (liste non exhaustive) :

Facteurs liés aux procédures	Facteurs liés au patient
Chirurgies thoraciques et abdominales	Âge
Position du corps	Indice de masse corporelle élevé
Pontage cardiopulmonaire	Tabagisme
Pression intra-abdominale élevée	Grossesse

L'atélectasie apparue dans le cadre d'une anesthésie générale contribue au développement de complications pulmonaires post-opératoires. Si les taux d'incidence des complications pulmonaires post-opératoires peuvent atteindre jusqu'à 23 %, ² il a été démontré que la détérioration des fonctions pulmonaires augmente :

- (a) la mortalité à court et long terme
- (b) la morbidité
- (c) les coûts des soins médicaux²

Les complications pulmonaires post-opératoires représentent à elles seules 11,9 % du taux de mortalité des patients ayant subi des interventions de chirurgie digestive. Par ailleurs, un séjour prolongé en unité de soins intensifs post-opératoires, de 4,5 à 7,1 jours, implique une augmentation des coûts associés de 25 498 \$.⁷

Ventilation protectrice peropératoire : synthèse des faits cliniques

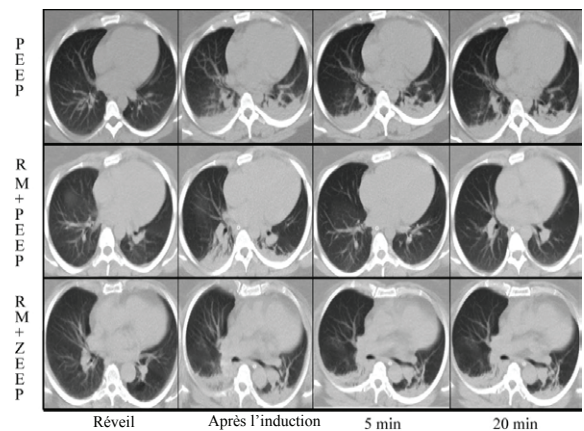
Si tout le monde s'accorde à dire que l'atélectasie dans le contexte de l'anesthésie générale constitue un problème clinique majeur avec des conséquences médicales et financières importantes, les opinions et les courants d'idées divergent quant à la manière d'empêcher le collapsus alvéolaire de survenir

Diverses stratégies de ventilation protectrice sont utilisées en soins intensifs et peuvent être transposées en salle d'opération afin d'améliorer les résultats post-opératoires. De nombreuses études montrent que les stratégies de ventilation protectrice prophylactiques associant faible volume courant, PEP modérée et manœuvres de recrutement alvéolaire, peuvent contribuer à la protection peropératoire en réduisant l'incidence des complications pulmonaires post-opératoires.^{1, 2, 4-6} Cela peut permettre d'améliorer les résultats physiologiques et cliniques post-opératoires. Toutefois, le rôle et l'efficacité de ces stratégies prises individuellement ne sont pas encore totalement maîtrisés. Reinius et al. ont démontré que, chez les patients présentant une obésité morbide, les stratégies basées sur la PEP et les manœuvres de recrutement ne permettent pas de limiter le phénomène d'atélectasie.⁸

Toutefois, une manœuvre de recrutement suivie d'un niveau de PEP suffisant permet d'ouvrir les zones du poumon présentant une atélectasie, d'améliorer l'oxygénation des artères et d'augmenter la compliance du système respiratoire, dans certains cas.⁸

Manœuvres de recrutement alvéolaire

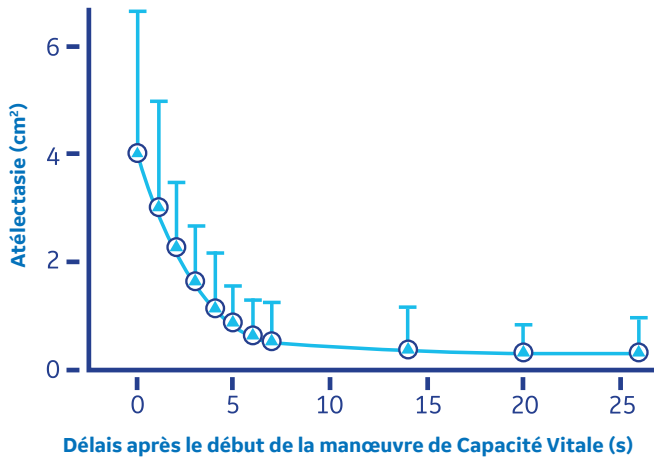
Les manœuvres de recrutement alvéolaires visent à ouvrir les alvéoles affaissées en augmentant la pression transpulmonaire de manière transitoire. Dans les paragraphes suivants, nous nous intéresserons au recrutement en une étape ou en plusieurs étapes, dans le cadre d'une stratégie de ventilation mécanique protectrice en peropératoire.



Images scanographiques des poumons pour chacune des trois stratégies : PEP (PEEP), Manœuvre de recrutement + PEP (RM+PEEP) et Manœuvre de recrutement + Pression nulle en fin d'expiration (RM+ZEEP), à 4 instants donnés : réveil, après l'induction, à 5 minutes et à 20 minutes après l'induction. ZEEP = zero end-expiratory pressure (pression nulle en fin d'expiration).⁸

Capacité vitale : manœuvre de recrutement en une étape

La méthode dite de Capacité vitale (CV), ou de pression manuelle du ballon, consiste à appliquer et à maintenir une pression d'insufflation définie pendant un certain laps de temps. Cette méthode a prouvé son efficacité dans certains cas. Chez les patients qui subissent une chirurgie de l'œil ou une neurochirurgie, la pressurisation de poumons adultes sains à 40 cm H₂O permet de rouvrir efficacement les tissus pulmonaires affaissés dans les 7 à 8 premières secondes de la manœuvre CV.⁹ Le graphique ci-dessous représente le phénomène d'atélectasie et les niveaux de gaz associés dans le sang artériel, avant et après une pression du ballon manuel appliquée au moins 15 minutes après l'induction et maintenue pendant 26 secondes.⁹



Analyse du sang artériel avant et après une manœuvre de Capacité Vitale

	Avant	Après	p
pH	7.44 (0.03)	7.44 (0.04)	0.20
Pa _{CO₂} (kPa)	4.80 (0.6)	4.70 (0.7)	0.30
Pa _{O₂} (kPa)	17.2 (4.0)	22.2 (6.0)	.013
Sa _{O₂} (%)	98.3 (0.9)	98.7 (0.5)	0.10
Bicarbonate (mEq/litre ¹)	24.6 (1.2)	24.8 (1.1)	0.50
BE (mEq L ¹)	0.10 (1.4)	0.20 (1.1)	0.90

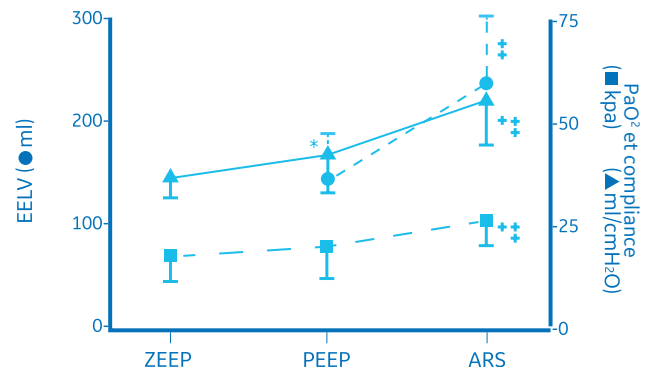
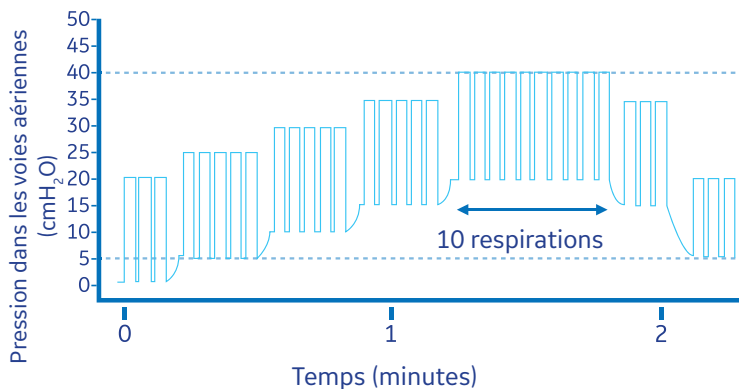
Bien qu'il n'existe pas d'approche universelle susceptible de convenir à tous les patients, une étude méta-analytique récente a permis de parvenir aux conclusions suivantes :

- 1. Une réduction de la FiO₂, chez les patients capables de le supporter, peut fournir une oxygénation adéquate tout en limitant le phénomène d'atélectasie.**
- 2. Une manœuvre CV (+40 cm H₂O pendant 15 secondes), associée à une PEP suffisante (+10 cm H₂O), prévient efficacement les phénomènes d'atélectasie et l'apparition de complications post-opératoires.**

D'autres stratégies de recrutement par la méthode de capacité Vitale ont également prouvé leur efficacité. Les résultats d'une étude sur la ventilation protectrice peropératoire (étude IMPROVE, Intraoperative Protective Ventilation) indiquent qu'une stratégie de ventilation protectrice prophylactique (dans ce cas, volume courant de 6-8 ml/kg de poids corporel, PEP de 6-8 cm H₂O, et manœuvre de recrutement de 30 cm H₂O sur une durée de 30 secondes répétée toutes les 30 minutes) permet de réduire les complications post-opératoires, dans certains cas.¹⁰

Soupir étendu : manœuvre de recrutement en plusieurs étapes

Si les stratégies d'insufflation continue en une étape ont montré leur efficacité, les manœuvres de recrutement en plusieurs étapes (ou par étapes) peuvent également s'avérer bénéfiques. Les manœuvres de recrutement impliquant une augmentation progressive de la pression dans les voies aériennes et/ou de la PEP sont appelées manœuvres de recrutement par étapes. Cette approche permet une augmentation plus progressive de la pression trans-pulmonaire. Une stratégie de recrutement par étapes dans le cadre d'une ventilation avec contrôle de la pression (fréquence respiratoire de 15, rapport I/E de 1/1 et PEP augmentée de 0 cm H₂O à 20 cm H₂O par incréments de 5 cm H₂O) a permis une meilleure oxygénation des artères, une augmentation du volume pulmonaire en fin d'expiration et une meilleure compliance respiratoire chez des patients subissant une chirurgie abdominale ouverte.¹¹ La stratégie de recrutement alvéolaire est résumée ci-dessous. Comme le montrent les graphiques suivants, la manœuvre de recrutement par étapes a permis de réduire l'espace mort et d'améliorer l'élimination du CO₂ et l'efficacité de la ventilation chez les patients.¹¹



EELV : End Expiratory Lung Volume (volume pulmonaire en fin d'expiration)
ARS : Alveolar Recruitment Strategy (stratégie de recrutement alvéolaire)

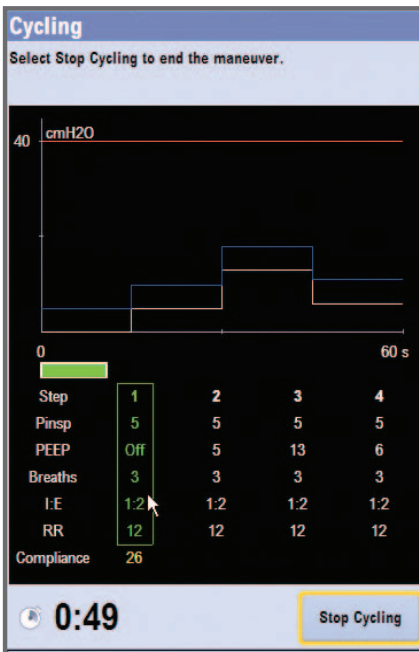
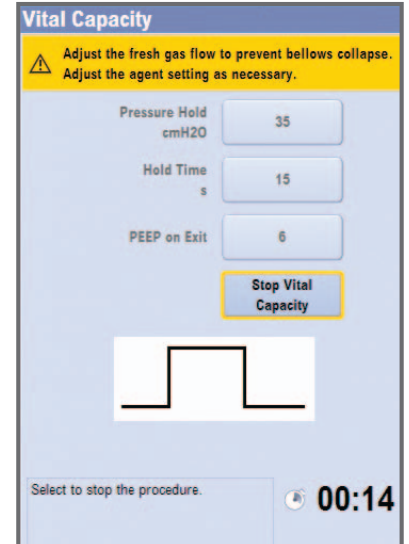
Solutions de ventilation protectrice de GE Healthcare

Manœuvres de recrutement alvéolaire automatisées : un flux de travail simplifié pour faciliter l'exécution des soins

Les tout derniers systèmes d'anesthésie de GE Healthcare sont conçus pour simplifier le flux de travail et pour aider les médecins à soigner leurs patients plus efficacement. Les dernières versions logicielles pour les machines d'anesthésie GE Aisys CS², Avance CS² et Carestation 600 intègrent des procédures de manœuvre de recrutement automatisées. Il s'agit des options Vital Capacity (Capacité vitale) et Cycling (Soupir étendu), activables au moyen de la touche Procédures (Procédures). Ces fonctions automatisées permettent au médecin d'exécuter les procédures correspondantes avec précision et efficacité.

Vital Capacity (Capacité vitale)

Cette fonction automatise la méthode de pressurisation du ballon manuel et le maintien de la pression et permet de délivrer facilement une respiration avec pression sans avoir à changer différents réglages au niveau du ventilateur. Le réglage PEEP on Exit (PEP en fin de procédure) permet de changer automatiquement le réglage de la PEP sur le ventilateur à la fin de la procédure de Capacité vitale.



Cycling (Soupir étendu)

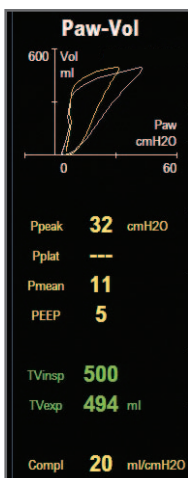
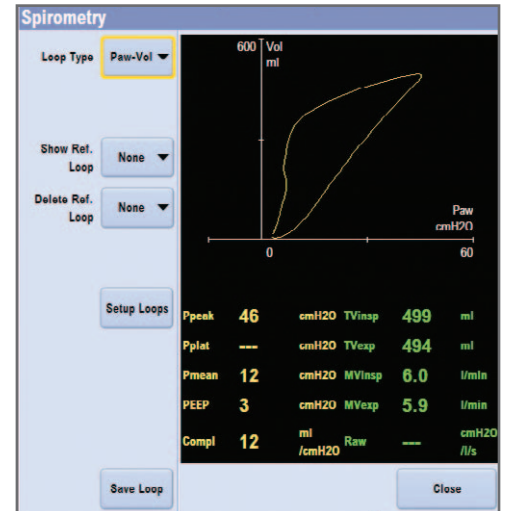
Cette fonction automatise les manœuvres de recrutement par étapes. Il s'agit d'une fonction programmable automatisée qui permet aux médecins d'augmenter et de réduire les niveaux de PEP dans le cadre d'une ventilation mécanique. Elle permet de délivrer de manière flexible des respirations en mode pression contrôlée, sans avoir à changer différents réglages au niveau du ventilateur. Quatre profils de soupir étendu, avec jusqu'à sept étapes pré-réglées, sont disponibles. Les étapes et les paramètres de ventilation par défaut peuvent être pré-réglés pour chaque procédure en mode super-utilisateur. L'utilisateur peut ensuite adapter les réglages des paramètres de ventilation pour chaque étape, avant de commencer la procédure. Dans la dernière version du logiciel Aisys CS², l'utilisateur peut visualiser l'étape en cours dans un encadré vert, ainsi que la mesure de la compliance pour chaque étape, afin de voir en temps réel l'efficacité de la procédure de recrutement alvéolaire automatisée.

Spirométrie du patient : la compliance pulmonaire en tant que paramètre central pour l'évaluation de l'efficacité du recrutement en anesthésie

La compliance pulmonaire correspond à l'élasticité du système respiratoire. Elle se définit comme la différence de pression nécessaire pour gonfler le poumon d'un certain volume. La compliance pulmonaire dynamique se calcule en divisant le volume courant par la différence entre la Pplat et la PEP : compliance dynamique = $VC/(P_{plat} - PEP)$. Cette valeur dynamique en temps réel est un outil simple qui permet aux médecins de suivre les changements respiratoires et d'ajuster les réglages du ventilateur en conséquence.

Une augmentation de la compliance pulmonaire immédiatement après une manœuvre de recrutement alvéolaire tend à indiquer une régression de l'atélectasie et se traduit par une augmentation de la PaO_2 grâce à une meilleure adéquation de la ventilation et de la perfusion.

La fonction de spirométrie du patient, présente sur les machines d'anesthésie GE Aisys CS², Avance CS² et Carestation 600, mesure la pression, le débit et le volume dans les voies aériennes, ainsi que la compliance et la résistance des voies aériennes, à chaque respiration. Les relations dynamiques entre la pression et le volume, entre le débit et le volume, et entre la pression et le débit, sont affichées sous forme graphique.



Ce graphique illustre les effets des différents réglages de la PEP (et donc des manœuvres de recrutement) sur la compliance du patient. La boucle enregistrée (en blanc) montre une diminution de la compliance. La situation évolue lorsque la PEP est réglée sur 5 cmH_2O : la compliance pulmonaire est clairement améliorée (en jaune).

Lors d'une procédure de soupir étendu, la valeur de compliance dynamique est affichée pour chaque niveau de PEP, ce qui permet au médecin de savoir si le recrutement est efficace et de déterminer le niveau de PEP optimal pour le patient concerné.

Variation de la pression du pouls (dPP) et variation de la pression systolique (SPV) : surveillance continue de la stabilité hémodynamique du patient

La ventilation en pression positive entraîne des variations de la pression sanguine dans la cage thoracique. La pression sanguine augmente en phase inspiratoire et diminue en phase expiratoire. L'amplitude de ces variations dépend du remplissage vasculaire du patient. Chez un patient hypovolémique, ces variations sont plus importantes que chez un patient normo-volémique ou hyper-volémique. Ce phénomène est connu.

Les outils Pulse Pressure Variation (dPP, variation de la pression du pouls) et Systolic Pressure Variation (SPV, variation de la pression systolique) disponibles sur les moniteurs patient CARESCAPE de GE Healthcare (B850, B650 et B450), associés aux machines d'anesthésie Aisys CS², Avance CS² et Carestation 600, permettent de mettre en place une stratégie de protection pulmonaire individualisée, adaptée à chaque patient. Les fonctions dPP et SPV sont des outils d'aide à la décision clinique qui peuvent permettre de prédire une instabilité hémodynamique induite par la pression positive en fin d'expiration et de déterminer les manœuvres de recrutement adéquates.

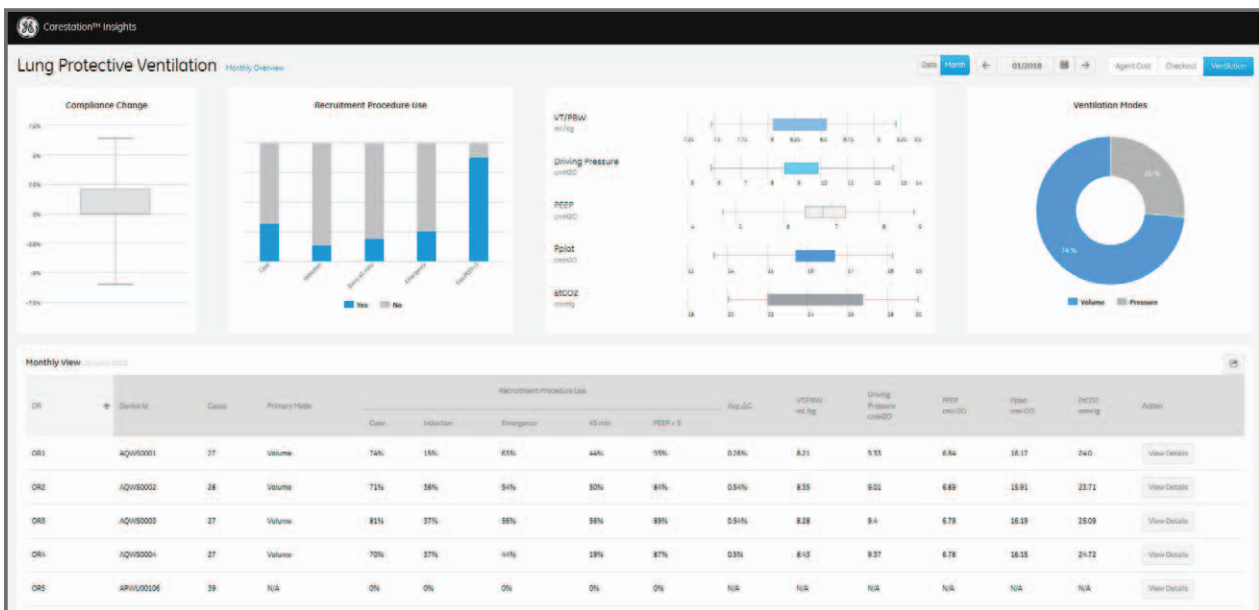
Une augmentation de la pression intrathoracique peut augmenter la post-charge du ventricule droit, comprimer les veines intrathoraciques et réduire le débit cardiaque. Par ailleurs, les poumons peuvent exercer un effet de compression sur le cœur, réduisant ainsi la compliance cardiaque. Les outils dPP et SPV sont des indicateurs de la variation de la charge cardiaque, et le médecin peut donc les utiliser pour évaluer l'impact potentiel du recrutement pulmonaire sur les paramètres hémodynamiques.

Carestation Insights : analyse des données d'anesthésie pour une meilleure visibilité sur la ventilation et la réponse pulmonaire

Carestation Insights est une suite d'applications analytiques basées sur le cloud conçues pour aider les médecins à prendre des décisions reposant sur des données fiables, afin d'améliorer les résultats. Cet outil analyse plus de 300 points de données : valeurs de ventilation, valeurs de gaz, alarmes, codes d'erreur et statut de la machine.

L'application Lung Protective Ventilation (Ventilation protectrice) suit les paramètres de ventilation et la réponse pulmonaire, sur l'ensemble des machines d'anesthésie connectées. Elle fournit des données permettant aux hôpitaux de mettre en place des initiatives liées à la ventilation protectrice des poumons, afin d'améliorer les résultats cliniques et de réduire les complications post-opératoires.

Cette application offre la visibilité nécessaire à la mise en œuvre d'un véritable changement des comportements. Elle intègre un mécanisme de suivi en temps réel des données et des tendances associées aux principaux paramètres et réglages de la ventilation, afin d'évaluer l'efficacité des protocoles de ventilation protectrice, autant au niveau de la salle d'opération que du département d'anesthésie. En outre, cette application permet d'établir une relation de cause à effet entre les réglages des paramètres de ventilation et les effets produits sur le patient en peropératoire, grâce à une meilleure visibilité sur les variations de la compliance pulmonaire. Cela peut aider les médecins à mieux évaluer l'impact de leur pratique sur les patients.



GE Healthcare propose une solution complète pour le monitoring, la délivrance et l'activation de chacun des aspects d'une stratégie de ventilation protectrice. Pour identifier la solution GE adaptée à vos besoins, contactez votre représentant GE Healthcare ou rendez-vous sur le site www.gehealthcare.com.



Références

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