



# Manœuvres de recrutement alvéolaire pour améliorer la fonction pulmonaire pendant l'anesthésie générale

Christopher Young, MD

Professeur d'anesthésie, Service de Réanimation, Duke University Medical Center

## Introduction

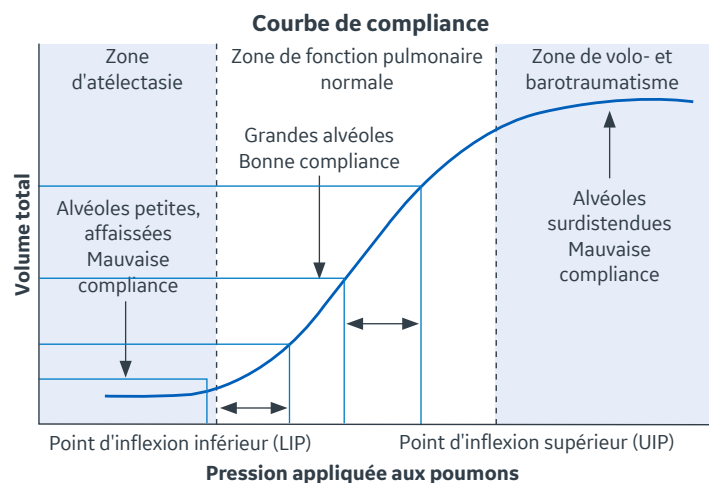
Avant la chirurgie, le patient passe d'une position debout à une position couchée pour l'induction de l'anesthésie générale (AG). Cette position peut réduire considérablement la fonction pulmonaire en raison d'une atélectasie progressive. Les changements en termes de distribution de la pression abdominale, de complianc de la paroi thoracique et de blocage neuromusculaire entraînent des réductions additionnelles et délétères du volume pulmonaire de fin d'expiration, appelé capacité résiduelle fonctionnelle (CRF). En conséquence, le volume des poumons est plus petit, fonctionnant sur une partie plus plate et moins compliant de sa courbe pression / volume. Comme le montre l'illustration 1, pour maintenir le même volume courant incrémentiel (cf. variations du volume de la zone de fonction pulmonaire normale, dans l'illustration 1), le poumon nécessite alors des pressions plus importantes.

Cette baisse de la courbe de complianc pulmonaire est amplifiée par des facteurs tels que l'obésité, la position de Trendelenburg et l'insufflation de gaz dans la cavité abdominale.

## Atélectasie pendant une anesthésie

90 % des patients sous AG développent une hypoxémie en raison d'une atélectasie progressive. Les premières études menées à ce sujet ont révélé que l'utilisation d'un volume courant (VT) de 12 à 15 ml/kg de poids corporel était efficace pour réduire l'atélectasie et rétablir la complianc afin d'obtenir des échanges gazeux pulmonaires normaux au bloc opératoire<sup>1</sup>. Dans des études plus récentes, les effets indésirables d'une ventilation à VT élevé ont été reconnus à la fois chez les patients atteints du syndrome de détresse respiratoire aiguë (SDRA) et chez ceux présentant des poumons sains, sous anesthésie pendant une intervention chirurgicale<sup>2</sup>. Par conséquent, la recommandation actuelle pour la ventilation protectrice au bloc opératoire comprend l'utilisation d'une ventilation avec un volume courant faible de 6 à 8 ml/kg de poids idéal théorique.

Bien qu'une ventilation avec un volume courant limite le risque de lésion alvéolaire liées à une surdistension, c'est-à-dire un volotraumatisme ou un barotraumatisme, il existe toujours un risque de lésion pulmonaire lié au phénomène cyclique d'affaissement et de réouverture des alvéoles pulmonaires sous-gonflées, un processus appelé atélectraumatisme. Les concepts de stress pulmonaire (contrainte) et de déformation volumétrique (strain) sont utiles pour comprendre le rôle de l'atélectasie, du volume courant et de la CRF dans la réduction des lésions pulmonaires et la prévention des atélectraumatismes.

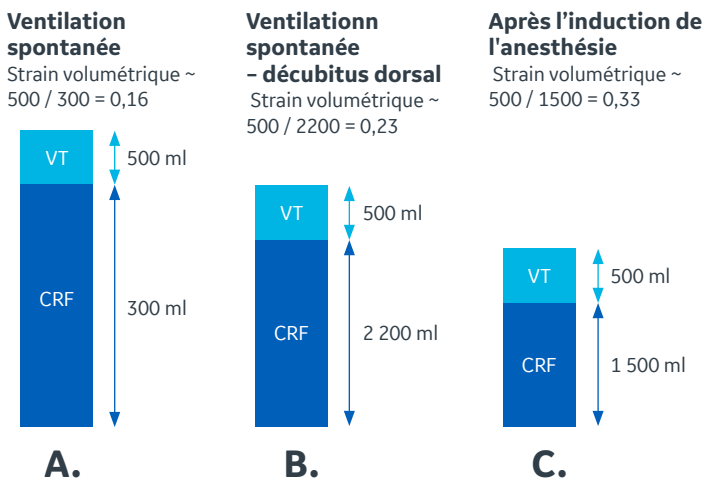


**Illustration 1.** Courbe de complianc pulmonaire. Le tracé de la pression en fonction du volume pulmonaire pendant le gonflement incrémentiel des poumons produit la courbe de complianc. La forme sigmoïde de la courbe montre que la complianc pulmonaire est meilleure dans la zone médiane dans le cas d'une fonction pulmonaire normale. L'atélectasie et la surdistension sont associées à un aplatissement de la courbe, qui indique qu'une pression plus élevée est nécessaire pour produire le même volume courant. Deux volumes courants identiques sont représentés. Le volume courant délivré dans la zone de bonne complianc nécessite moins de pression que le même volume délivré dans la zone d'atélectasie. La ventilation des poumons peut entraîner des lésions lorsque la complianc est réduite.

D'après : Walton, J. J. (2015). Advanced ventilation management. *Surgery (Oxford)*, 33(10), 485-490.

## Les effets mécaniques de l'atélectasie

Le stress et le strain sont des termes utilisés dans l'ingénierie des matériaux pour qualifier les forces dynamiques qui agissent sur un matériau. Ces concepts peuvent être utilisés pour décrire les forces qui agissent sur les poumons pendant la ventilation mécanique en pression positive. Le stress est le rapport d'une force à une surface ; lorsqu'un volume courant donné est administré aux poumons, le stress associé à ce volume courant augmente à mesure que la surface des poumons est réduite, comme dans le cas de l'atélectasie. Le strain est le changement de longueur d'un matériau divisé par sa longueur d'origine, par exemple, lorsqu'un ressort est tendu au-delà de sa longueur de départ. Le strain volumétrique se réfère au volume plutôt qu'à la longueur et est utile pour décrire les forces qui agissent sur les alvéoles pendant la ventilation mécanique. Le strain volumétrique de l'ensemble des poumons peut donc être désigné par la variation du volume pulmonaire (volume courant) divisé par le volume pulmonaire en fin d'expiration initial (illustration 2). Le volume pulmonaire en fin d'expiration (EELV, « End Expiratory Lung Volume ») est le même que celui de la CRF pendant la ventilation en pression positive. La réduction de la CRF (et de l'EELV) observée pendant l'AG et amplifiée par l'obésité, le positionnement et l'insufflation de gaz dans la cavité abdominale au bloc opératoire, entraîne une augmentation du strain volumétrique pendant la ventilation mécanique.<sup>3</sup> Une déformation excessive provoque des lésions alvéolaires qui entraînent l'augmentation de la réponse inflammatoire systémique et contribuent aux complications pulmonaires postopératoires. Lorsque la CRF diminue de manière significative, même une ventilation avec un VT faible peut potentiellement devenir nuisible. C'est pourquoi une protection des poumons efficace nécessite non seulement l'utilisation d'une ventilation avec un volume courant faible, mais également la restauration d'une CRF normale pour réduire le stress et le strain pulmonaires.



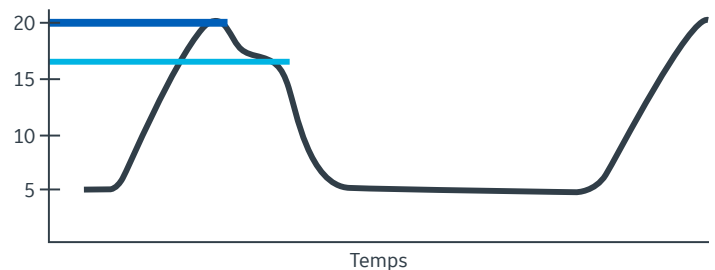
**Illustration 2.** Effet de la réduction de la capacité résiduelle fonctionnelle (CRF) sur le strain pulmonaire. Le volet A montre un strain volumétrique normal de 16 % pendant la ventilation spontanée. La réduction de la CRF due au positionnement en décubitus dorsal fait passer le strain à 23 % (volet B). L'induction de l'anesthésie réduit encore davantage la CRF et fait passer le strain à 33 % (volet C). La restauration de la CRF avec les manœuvres de recrutement alvéolaire et la PEP peut réduire le strain volumétrique pulmonaire.

## Détérioration des échanges gazeux due à l'atélectasie

L'affaissement des alvéoles entraîne une dérivation du flux sanguin pulmonaire à travers les poumons (shunt pulmonaire). Ces alvéoles pulmonaires sont incapables de contribuer à la ventilation, ce qui entraîne une mauvaise élimination du  $\text{CO}_2$  et le retour direct du sang mal oxygéné dans la circulation sanguine générale, provoquant une hypercapnie et une hypoxémie réfractaire à une fraction inspirée en oxygène ( $\text{FiO}_2$ ) accrue. Au fur et à mesure que l'atélectasie se développe, la quantité de sang shunté directement renvoyé dans la circulation sanguine générale augmente, ce qui aggrave l'hypercapnie et l'hypoxémie<sup>4</sup>.

## Pression motrice

La pression motrice est la pression délivrée aux poumons pendant la ventilation mécanique. Il s'agit de la différence entre la pression plateau et la pression en fin d'expiration (illustration 3). Elle peut être mesurée lors d'une ventilation en volume contrôlé avec une pause inspiratoire. Pendant la pause, le débit est nul, et la pression de plateau mesurée (Pplat) correspond plus précisément à la pression alvéolaire qu'à la pression de crête des voies aériennes. La Pplat peut être estimée en utilisant la pression de crête des voies aériennes dans les modes de ventilation mécanique en pression contrôlée. La pression motrice peut être surveillée en continu pendant l'anesthésie et fournit une cible pour la protection des poumons. À mesure que la compliance des poumons diminue du fait de la perte de volume, des pressions plus élevées sont nécessaires pour produire le même volume courant. Il en résulte une augmentation du stress pulmonaire et du strain volumétrique. La réduction du volume courant peut aider, mais elle entraîne davantage d'hypoxémie et / ou d'hypercapnie. L'augmentation des pressions motrices est associée à des taux de mortalité plus élevés chez les patients atteints de SDRA.<sup>5</sup> Il a été démontré que des niveaux supérieurs à 14 - 15  $\text{cmH}_2\text{O}$  sont associés de manière significative à l'apparition de complications postopératoires après l'AG.<sup>6</sup> Même de petites variations de la pression motrice peuvent avoir un impact significatif sur les résultats cliniques. Une méta-analyse de 17 essais contrôlés randomisés sur la ventilation protectrice a montré une association indépendante entre les complications pulmonaires postopératoires et l'augmentation de la pression motrice ou les augmentations de la pression motrice associées à des variations de la pression expiratoire positive (PEP)<sup>7</sup>. Chaque augmentation de 1  $\text{cmH}_2\text{O}$  de la pression motrice a augmenté de 16 % le risque d'apparition d'une complication pulmonaire postopératoire.



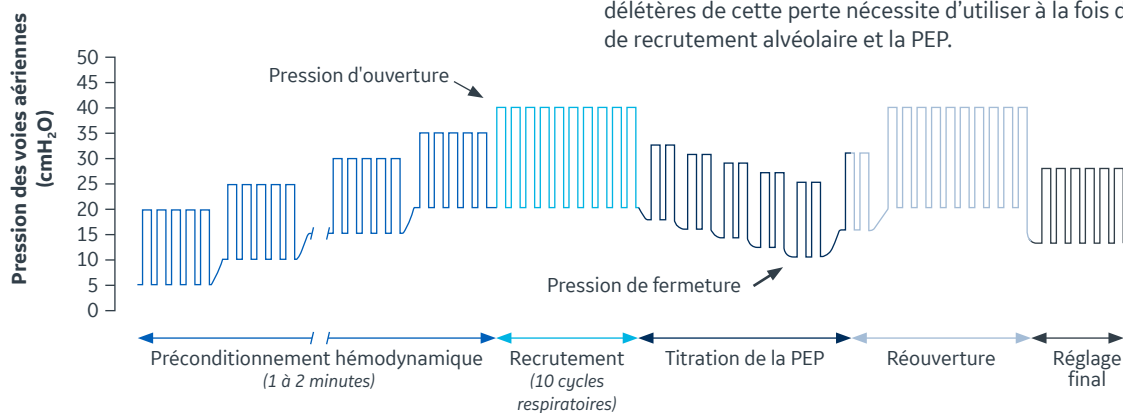
**Illustration 3.** Pression motrice. La pression motrice est déterminée par la différence entre la pression plateau et la pression en fin d'expiration. Dans cet exemple, un seul cycle respiratoire en volume contrôlé est représenté. La pression plateau de 16  $\text{cmH}_2\text{O}$  peut être déterminée lors d'une pause en fin d'inspiration. La PEP est de 5  $\text{cmH}_2\text{O}$ , ce qui donne une pression motrice de 11  $\text{cmH}_2\text{O}$ . Notez que la pression inspiratoire de crête, qui est influencée par le débit de gaz et la résistance des voies aériennes, entraîne une surestimation de la pression motrice.

## Pression d'ouverture et manœuvres de recrutement alvéolaire

Une alvéole affaissée peut être ramenée à son état normal en appliquant une pression positive suffisante. La pression d'ouverture d'une alvéole correspond à la quantité spécifique de pression positive entraînant sa réouverture. La quantité de pression requise pour recruter une alvéole pulmonaire affaissée varie d'une alvéole à une autre. Lorsque des niveaux appropriés de pression positive sont appliqués et que la pression d'ouverture est atteinte et maintenue brièvement, un recrutement alvéolaire est obtenu. Au cours de l'AG, la plupart des alvéoles affaissées peuvent être ouvertes avec une manœuvre de recrutement alvéolaire de 40 cmH<sub>2</sub>O d'une durée de 7 à 10 secondes.<sup>8</sup> Des niveaux plus élevés peuvent être nécessaires pour les patients dont l'IMC est élevé.<sup>9</sup>

Les manœuvres de recrutement peuvent être effectuées de plusieurs manières. Pendant l'anesthésie, il est possible de passer en mode ballon et d'exécuter une manœuvre de recrutement alvéolaire manuellement. Cependant, cette méthode n'est PAS recommandée pour plusieurs raisons. Tout d'abord, faire passer la valve APL du mode ballon au mode ventilation mécanique peut entraîner une libération transitoire de la pression provoquant le dérecrutement des alvéoles qui viennent d'être ouvertes. Qui plus est, la manœuvre de recrutement alvéolaire par « compression du ballon » a été associée à une augmentation du taux de complications pulmonaires postopératoires<sup>9</sup>. Les méthodes basées sur le changement par paliers des réglages du ventilateur sont préférées. Il est possible d'augmenter le volume et / ou la pression délivrés mécaniquement toutes les 3 à 6 cycles respiratoires jusqu'à ce que la pression d'ouverture cible soit atteinte. Après plusieurs cycles à la pression cible, la ventilation avec un volume courant faible de référence peut être reprise.

La sécurité de la méthode de recrutement par paliers pour les patients subissant une intervention chirurgicale a été démontrée dans de nombreuses études<sup>10</sup>. La complication la plus fréquente des manœuvres de recrutement alvéolaire est la nécessité de recourir temporairement à un vasopresseur. Les taux d'effets hémodynamiques significatifs et de barotraumatismes ne semblent pas augmenter lorsque les manœuvres de recrutement alvéolaire sont utilisées correctement au bloc opératoire.



**Illustration 4.** Stratégie des manœuvres de recrutement alvéolaire. Les manœuvres de recrutement alvéolaire sont réalisées pendant la ventilation en pression contrôlée avec une pression motrice (plateau - PEP) de 15 cmH<sub>2</sub>O. Chaque rectangle représente un volume courant. La PEP est augmentée par incréments de 5 cmH<sub>2</sub>O pendant la phase de preconditionnement hémodynamique. Puis la PEP et la pression motrice augmentent à 20 cmH<sub>2</sub>O pour atteindre la pression d'ouverture des poumons. Après 10 cycles respiratoires, les poumons sont complètement ouverts. L'essai de titration de la PEP commence par la réduction de la pression motrice à 15 cmH<sub>2</sub>O, puis la PEP est réduite par incréments de 2 cmH<sub>2</sub>O à partir de 20 cmH<sub>2</sub>O jusqu'à ce que la pression de fermeture soit trouvée. Lorsque les manœuvres de recrutement ont été effectuées, le patient est ensuite ventilé selon les principes de ventilation protectrice : faible volume courant et application de la PEP d'ouverture des poumons mesurée.

D'après : Tusman, Gerardo et Javier F. Belda. « Treatment of anesthesia-induced lung collapse with lung recruitment maneuvers. » *Current anaesthesia & critical care* 21, no. 5-6 (2010): 244-249.

## Les « poumons ouverts »

Les manœuvres de recrutement alvéolaire ne peuvent à elles seules maintenir gonflées des alvéoles sujettes à l'affaissement. Une fois qu'une alvéole affaissée est rouverte avec une manœuvre de recrutement alvéolaire, une PEP suffisante est requise pour la maintenir en état de « poumons ouverts »<sup>11</sup>. La PEP nécessaire pour maintenir les poumons ouverts une fois que l'état normal des alvéoles a été rétabli varie d'un individu à l'autre et peut également changer au cours de l'intervention chirurgicale en raison des changements dynamiques de la pression abdominale et de la compliance de la paroi thoracique associés aux changements de positionnement du patient, à la mise en place de l'écarteur et à l'insufflation de gaz dans la cavité abdominale. Une méthode courante pour déterminer le niveau correct de PEP consiste à effectuer une manœuvre de recrutement alvéolaire, puis une titration décroissante progressive de la PEP. La PEP permettant d'obtenir la plus faible pression motrice lors de la ventilation en volume contrôlé (ou le meilleur volume courant pour une pression donnée lors de la ventilation en pression contrôlée) correspond à la meilleure compliance des poumons et équilibre le volume courant entre un gonflement excessif et un gonflement insuffisant des poumons. Une seconde manœuvre de recrutement alvéolaire est ensuite effectuée, et la PEP est réglée 1 à 2 cmH<sub>2</sub>O au-dessus de ce niveau identifié (illustration 4). Il a été démontré qu'une PEP médiane de 8 à 10 cmH<sub>2</sub>O est nécessaire pour minimiser la pression motrice pendant la chirurgie abdominale chez les patients dont l'indice de masse corporelle (IMC) est normal.<sup>12</sup>

Il a également été démontré que la PEP individualisée, telle que déterminée en minimisant la pression motrice lors des interventions chirurgicales avec ouverture de l'abdomen, diminue l'atélectasie peropératoire, améliore l'oxygénation pendant et après l'intervention chirurgicale, et réduit de façon significative les complications pulmonaires postopératoires<sup>13</sup>. Des études portant sur des patients présentant un IMC normal subissant une laparoscopie ont révélé que la PEP optimale est de 10 - 14 cmH<sub>2</sub>O, et que 2 - 4 cmH<sub>2</sub>O de plus sont nécessaires lorsque le patient est mis en position de Trendelenburg et pendant l'insufflation de gaz dans la cavité abdominale.<sup>14</sup> Il a été démontré que des niveaux plus élevés de PEP individualisée, allant jusqu'à 26 cmH<sub>2</sub>O, sont nécessaires pour maintenir la CRF, améliorer l'oxygénation et réduire la pression motrice chez les patients à IMC élevé qui subissent une intervention de chirurgie abdominale.<sup>15</sup> Le recrutement pulmonaire qui rétablit la CRF perdue et réduit les effets délétères de cette perte nécessite d'utiliser à la fois des manœuvres de recrutement alvéolaire et la PEP.

## Consensus du groupe d'experts

Un groupe d'experts internationaux en ventilation mécanique peropératoire a récemment publié des déclarations consensuelles concernant les manœuvres de recrutement alvéolaire.<sup>16</sup> 33 études sur les manœuvres de recrutement alvéolaire au bloc opératoire ont été sélectionnées en utilisant la méthode GRADE et discutées d'après les directives Delphi. Le groupe d'experts a conclu que :

- Les manœuvres de recrutement alvéolaire doivent être effectuées après la déconnexion du circuit et chaque fois que la saturation en hémoglobine du patient est  $\leq 94$  % en continu.
- Il faut évaluer la variation de la compliance du système respiratoire et de la pression motrice après une manœuvre de recrutement alvéolaire et répéter cette dernière avec une pause inspiratoire plus longue ou une pression plus élevée si le recrutement est jugé inefficace.
- Les manœuvres de recrutement alvéolaire doivent être réalisées en utilisant la pression inspiratoire effective la plus basse et le temps effectif le plus court ou le moins grand nombre de cycles respiratoires.

## Conclusion

Le caractère indispensable du rétablissement du volume pulmonaire pour la sécurité de la ventilation mécanique au bloc opératoire est de plus en plus reconnu. Les poumons sains peuvent être exposés à un stress et un strain considérables lors de la ventilation mécanique de routine au bloc opératoire du fait des réductions de la CRF. L'obésité, le positionnement tête en bas et l'insufflation de gaz dans la cavité abdominale font partie des facteurs qui peuvent compromettre encore davantage le volume pulmonaire de fin d'expiration. Le rétablissement de la CRF ou de l'EELV peut être réalisée en toute sécurité par l'application individualisée d'une pression expiratoire positive (PEP) couplée à des manœuvres de recrutement. Les alvéoles affaissées peuvent être ramenées en toute sécurité à leur état « poumons ouverts » normalement gonflé, ce qui réduit la pression motrice du ventilateur. En outre, de plus en plus d'études aboutissent à la conclusion que l'amélioration peropératoire de la fonction respiratoire résultant de l'approche des « poumons ouverts » peut réduire les complications pulmonaires postopératoires. L'extension de l'approche des « poumons ouverts » à l'environnement postopératoire immédiat peut également apporter des avantages en termes de résultat clinique.<sup>17</sup>

## Références

1. Bendixen, H. H., Whyte, H., & Laver, M. B. (1963). Impaired oxygenation in surgical patients during general anesthesia with controlled ventilation: a concept of atelectasis. *New England Journal of Medicine*, 269(19), 991-996.
2. Futier, E., Constantin, J. M., Paugam-Burtz, C., Pascal, J., Eurin, M., Neuschwander, A., ... & Jaber, S. (2013). A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *New England Journal of Medicine*, 369(5), 428-437.
3. Brunner, J. X., & Wysocki, M. (2012). Is there an optimal breath pattern to minimize stress and strain during mechanical ventilation? Dans *Applied Physiology in Intensive Care Medicine* 1 (25-29). Springer, Berlin, Heidelberg.
4. Hedenstierna, G., & Rothen, H. U. (2000). Atelectasis formation during anesthesia: causes and measures to prevent it. *Journal of clinical monitoring and computing*, 16(5), 329-335.
5. Guérin, C., Papazian, L., Reignier, J., Ayzac, L., Loundou, A., & Forel, J. M. (2016). Effect of driving pressure on mortality in ARDS patients during lung protective mechanical ventilation in two randomized controlled trials. *Critical Care*, 20(1), 1-9.
6. Ladha, K., Melo, M. F. V., McLean, D. J., Wanderer, J. P., Grabitz, S. D., Kurth, T., & Eikermann, M. (2015). Intraoperative protective mechanical ventilation and risk of postoperative respiratory complications: hospital-based registry study. *Bmj*, 351.
7. Neto, A. S., Hemmes, S. N., Barbas, C. S., Beiderlinden, M., Fernandez-Bustamante, A., Futier, E., ... & PROVE Network Investigators. (2016). Association between driving pressure and development of postoperative pulmonary complications in patients undergoing mechanical ventilation for general anaesthesia: a meta-analysis of individual patient data. *The Lancet Respiratory Medicine*, 4(4), 272-280.
8. H. U. Rothen, P. Neumann, J. E. Berglund, J. Valtysson, A. Magnusson et G. Hedenstierna. Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia* 82 (4): 551-6 (1999).
9. Ball, L., Hemmes, S. N. T., Neto, A. S., Bluth, T., Canet, J., Hiesmayr, M., ... & Pelosi, P. (2018). Intraoperative ventilation settings and their associations with postoperative pulmonary complications in obese patients. *British Journal of Anaesthesia*, 121(4), 899-908.
10. Tusman, G., & Belda, J. F. (2010). Treatment of anesthesia-induced lung collapse with lung recruitment maneuvers. *Current anaesthesia & critical care*, 21(5-6), 244-249.
11. Lachmann, B. (1992). Open up the lung and keep the lung open. *Intensive care medicine*, 18(6), 319-321.
12. Ferrando, C., Suarez-Sipman, F., Tusman, G., León, I., Romero, E., Gracia, E., ... & Belda, F. J. (2017). Open lung approach versus standard protective strategies: Effects on driving pressure and ventilatory efficiency during anesthesia-A pilot, randomized controlled trial. *PLoS one*, 12(5), e0177399.
13. Zhang, C., Xu, F., Li, W., Tong, X., Xia, R., Wang, W., ... & Shi, X. (2021). Driving Pressure-Guided Individualized versus Fixed Positive End-Expiratory Pressure in Abdominal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Anesthesia & Analgesia*, 133(5), 1197-1205.
14. Pereira, S. M., Tucci, M. R., Morais, C. C., Simões, C. M., Tonelotto, B. F., Pompeo, M. S., ... & Amato, M. B. (2018). Individual positive end-expiratory pressure settings optimize intraoperative mechanical ventilation and reduce postoperative atelectasis. *Anesthesiology*, 129(6), 1070-1081.
15. Simon, P., Girrbach, F., Petroff, D., Schiawe, N., Hempel, G., Lange, M., ... & Wrigge, H. (2021). Individualized versus Fixed Positive End-expiratory Pressure for Intraoperative Mechanical Ventilation in Obese Patients: A Secondary Analysis. *Anesthesiology*, 134(6), 887-900.
16. Young, C. C., Harris, E. M., Vacchiano, C., Bodnar, S., Bukowy, B., Elliott, R. R. D., ... & Sprung, J. (2019). Lung-protective ventilation for the surgical patient: international expert panel-based consensus recommendations. *British Journal of Anaesthesia*, 123(6), 898-913.
17. Futier, E., Constantin, J. M., Pelosi, P., Chanques, G., Massone, A., Petit, A., ... & Jaber, S. (2011). Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients: a randomized controlled study. *The Journal of the American Society of Anesthesiologists*, 114(6), 1354-1363.

© 2022 General Electric Company.

GE et le monogramme GE sont des marques commerciales de General Electric Company. GE Healthcare, une division de GE. GE Medical Systems, Inc., commercialisant ses produits sous le nom de GE Healthcare. Toute reproduction, sous quelque forme que ce soit, est interdite sans l'autorisation écrite préalable de GE. Les opinions, convictions et points de vue exprimés dans cet article sont uniquement ceux de l'auteur et ne reflètent pas nécessairement les opinions, convictions et points de vue de GE Healthcare. L'auteur est un consultant ayant été rémunéré par GE Healthcare pour la création de cet article. L'utilisation de ce document est réservée aux agents et aux employés de GE Healthcare ou à d'autres personnes expressément autorisées par GE. Toute utilisation sans autorisation est formellement interdite. Ce document peut contenir des concepts cliniques et des définitions. Aucun diagnostic n'est supposé ou inclus dans ce document. Tous les diagnostics cliniques doivent être réalisés par un professionnels de santé dûment formé.

Juin 2022  
JB01602FR

