Ventilation Protectrice Périopératoire

Emmanuel Futier

*Anesthésie-Réanimation, Pôle Médecine Périopératoire (MPO), Hôpital Estaing, CHU de Clermont-Ferrand,
1 place Lucie Aubrac 63003 Clermont-Ferrand cedex 1
Email : efutier@chu-clermontferrand.fr*

Plus de 230 millions d'interventions chirurgicales majeures sont pratiquées chaque année dans le monde sous anesthésie générale [1]. La survenue de complications respiratoires postopératoires, en particulier une pneumopathie ou une insuffisance respiratoire aiguë, augmente la durée d'hospitalisation et conditionne le pronostic à court et moyen termes du patient opéré [2]. Il a été rapporté que 5 à 10 % de tous les patients opérés, et que 9 à 40 % de ceux ayant bénéficié d'une chirurgie abdominale, développent au moins une complication respiratoire postopératoire [3]. Une étude récente du Massachusetts General Hospital de Boston a montré, sur une cohorte de 29924 patients, que l'apparition d'une complication respiratoire nécessitant une réintubation dans les 3 jours postopératoires était responsable d'une mortalité de 16 % [4].

La ventilation mécanique a longtemps été considérée comme une simple modalité de suppléance des effets respiratoires centraux des médicaments utilisés pendant la période opératoire. Pourtant, certaines données expérimentales et cliniques ont montré que la ventilation mécanique en pression positive (volume ou pression contrôlé) pouvait être délétère pour l'appareil respiratoire et générer des lésions pulmonaires, y compris chez des patients aux poumons antérieurement sains. La ventilation mécanique, lors de la période périopératoire, est un continuum allant de la pré-oxygénation du patient, avant intubation trachéale, jusqu'à son extubation en fin d'intervention chirurgicale. Comme nous le verrons, de nouvelles données plaident pour l'utilisation au bloc opératoire, comme ceci est désormais réalisé en réanimation, d'une stratégie prophylactique de ventilation protectrice afin de limiter le risque de complications pulmonaires postopératoires.

1. Limiter le volume courant (VT) au bloc opératoire

Depuis la publication dans le *New England Journal of Medicine* du travail de Bendixen et coll [5], l'utilisation de hauts niveaux de volume courant (VT), c'est à dire un VT de 10 à 15 ml/kg, a été proposée dans de nombreux ouvrages de référence pour limiter le risque d'hypoxémie et la formation d'atélectasies lors d'une anesthésie générale [6]. Plusieurs travaux ont montré que, chez des patients de réanimation présentant un syndrome de détresse respiratoire aigu (SDRA), l'utilisation d'une stratégie de ventilation dite « protectrice », en référence à l'utilisation de niveaux de volume courant (VT) réduit (de l'ordre de 6 à 8 ml/kg de poids idéal théorique), était associée à une amélioration du pronostic des patients et une réduction de la mortalité [7]. Après avoir été largement débattu, le réglage du niveau de VT fait désormais l'objet d'un consensus tacite en réanimation et l'utilisation d'un VT inférieur à 10 ml/kg de poids idéal théorique (PIT) est désormais fortement recommandé [8].

Certaines données récentes, provenant pour l'essentiel de travaux expérimentaux et d'études observationnelles, sont également en faveur d'un possible effet délétère de l'utilisation de hauts VTs et de la possibilité de lésions pulmonaires induites par la ventilation mécanique (*ventilator-induced lung injury* ou VILI) lors de courtes périodes d'exposition à une ventilation agressive chez des patients ayant des poumons antérieurement sains [9]. Il a été montré que des VT trop importants peuvent générer des phénomènes d'étirement alvéolaire (lésions dites de volutrauma) [10], et également médier la libération des médiateurs pro-inflammatoires et procoagulants alvéolaires et systémiques [11].

L'analyse rétrospective d'une cohorte de 447 patients, ayant des poumons sains à leur admission en réanimation, a montré que l'utilisation d'un VT > 12 ml/kg de PIT était statistiquement associée à une augmentation du risque de survenue d'un *acute lung injury* (ALI) [12].

Dans un travail récent, réalisé sur un collectif de 3434 patients de chirurgie cardiaque, Lellouche et coll [13] ont montré que l'utilisation d'un VT ≥ 10 ml/kg de PIT était un facteur de risque indépendant de défaillance multi-viscérale postopératoire et d'augmentation de la durée d'hospitalisation.

Enfin, une méta-analyse récente, synthétisant les données de plus de 3000 patients issus de 20 études randomisées contrôlées (incluant une proportion importante de patients chirurgicaux) a montré qu'une réduction du VT était associée à une diminution du risque de complications pulmonaires (risque relatif = 0,33 ; IC95% 0,23-0,47), d'infections pulmonaires (risque relatif = 0,45 ; intervalle de confiance (IC) 95% 0,22-0,92) et de mortalité (risque relatif = 0,64 ; IC95% 0,46-0,89) [9].

Il est important de considérer que le type d'intervention chirurgicale, au même titre que le risque préopératoire du patient, peuvent conditionner la sévérité de l'atteinte pulmonaire. Il a en effet été montré qu'une chirurgie majeure, par les dommages inflammatoires et ischémiques potentiels auxquels elle expose, peut exercer des effets synergiques (*multiple-hit concept*) avec une modalité délétère de ventilation mécanique et tout particulièrement si l'utilisation d'une ventilation agressive (VT élevé) précède le traumatisme [14].

Il est essentiel de comprendre que l'utilisation d'un VT réduit ne peut être dissociée de l'utilisation concomitante d'un niveau suffisant de pression de fin d'expiration positive (PEP). Il faut aussi rappeler qu'aucun travail à ce jour n'a démontré un bénéfice clinique de l'utilisation d'une stratégie de ventilation basée sur une réduction du VT sans PEP. A contrario, une ventilation à bas niveau de VT sans PEP (ou avec un trop faible niveau de PEP, c'est à dire < 5 cmH₂O) est responsable de phénomènes cycliques d'ouverture-fermeture des alvéoles et d'un dé-recrutement alvéolaire favorisant la formation d'un collapsus alvéolaire et d'atélectasies. Une analyse rétrospective de données, collectées chez 29343 patients ayant bénéficié d'une anesthésie générale entre 2008 et 2011, a récemment montré que, par rapport à l'utilisation d'un VT de 8 à 10 ml/kg de poids idéal théorique, l'utilisation d'un VT de 6 à 8 ml/kg de poids idéal théorique (dont la proportion était passée de 22,7 % en 2008 à 37,7 % en 2011) avec une PEP médiane de 4 cmH₂O (intervalle interquartile 2,2–5) était associée, après ajustement sur l'essentiel des variables peropératoires, à une augmentation de la mortalité postopératoire (Hazard ratio = 1,61 [IC95% 1,25–2,08], P = 0,0002) et de la durée d'hospitalisation [15].

2. PEP ou Zero end expiratory pressure (ZEEP)

Nous ne reviendrons pas en détail sur les modifications de la mécanique ventilatoire résultant d'une anesthésie générale et d'une intervention chirurgicale. Retenons que, sous les effets combinés de la position déclive, de la diminution du tonus musculaire et de l'ascension diaphragmatique, le volume pulmonaire de fin d'expiration (ou capacité résiduelle fonctionnelle lorsque celui-ci est mesuré à la pression atmosphérique) est réduit de façon importante, que le patient soit obèse ou non [16]. Ces modifications, communes lors de toute anesthésie générale, exposent à un collapsus des voies aériennes distales (lorsque le volume pulmonaire de fin d'expiration devient inférieur au volume de fermeture) et au développement d'atélectasies dans les zones dites dépendantes du poumon. La formation d'atélectasies est observée chez 90 % des patients bénéficiant d'une anesthésie générale [17].

L'utilisation d'une PEP, chez un patient sous anesthésie générale, répond à une logique physiologique et il n'existe aucun argument scientifique pour ne pas appliquer de PEP lors d'une intervention chirurgicale, même si une PEP seule est évidemment insuffisamment discriminante en termes de réduction de mortalité postopératoire [18]. L'application d'une PEP va s'opposer au collapsus des voies aériennes et à la réduction du volume pulmonaire de fin d'expiration. Une PEP de 5 à 10 cmH₂O chez le patient non-obèse, et d'une PEP d'au moins 10 cmH₂O chez le patient obèse, est efficace pour limiter la perte de volume pulmonaire et améliore la PaO₂ et les paramètres mécaniques respiratoires après intubation trachéale [16, 19]. De même, une PEP permet de limiter la perte de volume pulmonaire induite par un pneumopéritoine et améliore la compliance pulmonaire et thoracique en chirurgie laparoscopique [20, 21].

En revanche, les niveaux de PEP habituellement appliqués en routine clinique (c'est à dire ≤ 15 cmH₂O) sont insuffisants pour permettre la ré-expansion d'un collapsus pulmonaire et permettre la ré-expansion d'une atélectasie. A cet effet, il a été montré qu'une augmentation transitoire de la pression trans-pulmonaire (manœuvre de recrutement alvéolaire, MRA) obtenue par l'application d'une pression d'au moins 30 cmH₂O, pendant une période de 15-20 secondes, est nécessaire pour permettre la ré-expansion partielle d'une atélectasie [22]. De même, quelques travaux ont suggéré que l'effet du recrutement alvéolaire pourrait être transitoire justifiant d'une répétition des MRAs au cours de l'intervention chirurgicale [23-25].

3. Quel mode ventilatoire (pression ou volume) ?

L'essentiel des travaux ayant comparé les modes volume contrôlé (VVC) et pression contrôlée (VPC) ont été réalisés chez le patient obèse. Il n'existe pas de données en faveur de la supériorité de l'une ou de l'autre de ces modalités ventilatoires au bloc opératoire [26]. Il faut comprendre que, dans la mesure où l'on délivre un VT équivalent (c'est à dire un même niveau d'assistance), la pression alvéolaire, estimée par la pression de plateau (mesurée en condition quasi-statique), est la même. Seul le débit diffère entre les modes, avec un débit décélérant en mode barométrique et un débit carré en mode volumétrique. Cette forme de débit explique les différences de pression observées sur le ventilateur. Toutefois, il convient de retenir que (1) la pression de crête, qui est en fait le reflet des facteurs résistifs (comme la sonde d'intubation) est différente de la pression alvéolaire et (2) que pour un même niveau d'assistance ventilatoire, la pression alvéolaire sera identique en VVC et en VPC. Il est en revanche très important de savoir quels éléments surveiller et quelles alarmes régler en fonction du mode utilisé. Le choix dépendra essentiellement des habitudes de chaque équipe. Lorsque l'anesthésie est réalisée sans intubation trachéale et que la ventilation est délivrée à travers un masque laryngé, la ventilation en pression contrôlée peut être plus intéressante que la ventilation en volume contrôlé. En effet, la pression de crête générée par le volume courant avec un débit carré peut être plus souvent à l'origine de fuites.

4. Ventilation protectrice prophylactique : quelles preuves d'un bénéfice clinique ?

Deux études randomisées contrôlées ont récemment démontré le bénéfice de l'utilisation d'une stratégie de ventilation protectrice prophylactique (c'est à dire chez des patients dénués de pathologie pulmonaire) pendant la période opératoire.

Dans un travail incluant 56 patients opérés d'une chirurgie abdominale lourde, Severgnini et coll [27] ont montré que, par rapport à une stratégie de ventilation conventionnelle utilisant un VT de 9 ml/kg PIT sans PEP, l'application d'une stratégie de ventilation protectrice utilisant un VT de 7 ml/kg de PIT, une PEP de 10 cmH₂O et des manœuvres de recrutement alvéolaire (réalisées après intubation, avant extubation et lors de toute déconnexion du ventilateur) permettait : 1) d'améliorer l'oxygénation à J1, J2 et J5 postopératoires ; 2) d'améliorer les paramètres spirométriques postopératoires (capacité vitale forcée, capacité vitale forcée en 1 sec) ; et 3) de diminuer le score d'infection pulmonaire postopératoire modifié (modified clinical pulmonary infection score ou mCPIS).

Les résultats de ce travail ont été confirmés par une large étude multicentrique française (étude IMPROVE), conduite par notre groupe de recherche [28]. Cette étude prospective, randomisée, stratifiée, en double aveugle et en groupes parallèles, a été menée dans 7 centres hospitaliers universitaires français chez 400 patients avec un âge > 40 ans proposés pour une chirurgie abdominale par laparotomie ou par laparoscopie d'une durée estimée supérieure à 2h et ayant un risque intermédiaire ou élevé de complications pulmonaires postopératoires. Les patients ont été randomisés en 2 groupes : groupe ventilation non-protectrice (n = 200) avec un VT de 10 à 12 ml/kg de PIT sans PEP ni manœuvre de recrutement alvéolaire (MRA) ; groupe ventilation protectrice (n = 200) avec un VT de 6 à 8 ml/kg de PIT, une PEP de 6 à 8 cmH₂O et des MRA (CPAP de 30 cmH₂O pendant 30 sec) appliquées après intubation trachéale, puis toutes les 30-45 min jusqu'à la fin de l'intervention chirurgicale. Dans les 2 groupes, les patients étaient ventilés en mode VC, avec une

pression de plateau maximale de 30 cmH₂O et la FiO₂ minimale pour maintenir la SpO₂ ≥ 95 %. Une stratification était réalisée sur l'utilisation ou non d'une analgésie péridurale postopératoire. Tous les autres aspects de la prise en charge per et postopératoire du patient, incluant l'anesthésie générale, l'administration des liquides de remplissage, l'antibiothérapie prophylactique et la gestion de l'analgésie postopératoire, étaient laissés à la discrétion du médecin en charge du patient, en accord avec l'expertise clinique et les habitudes de chaque centre. Le critère de jugement principal était un critère composite de complications majeures pulmonaires (pneumopathie, nécessité d'une assistance ventilatoire invasive ou non-invasive pour traitement d'une IRA postopératoire) et extra-pulmonaires (survenue d'un sepsis, sepsis sévère, choc septique, décès) à J7 postopératoire. Sur les 400 patients inclus dans l'analyse en intention de traiter, des complications pulmonaires et extra-pulmonaires majeures étaient retrouvées chez 55 patients (27,5 %) dans le groupe ventilation non-protectrice et chez 21 patients (10,5 %) dans le groupe ventilation protectrice (risque relatif ajusté = 0,40 ; intervalle de confiance (IC) 95% 0,24-0,78, P = 0,001). Pendant les 7 jours postopératoires, 34 patients (17 %) du groupe ventilation non-protectrice ont nécessité une assistance ventilatoire invasive ou non-invasive contre 10 patients (5 %) dans le groupe ventilation protectrice (risque relatif ajusté = 0,29 ; IC95% 0,14-0,61, P = 0,001). La durée d'hospitalisation était plus courte dans le groupe ventilation protectrice que dans le groupe ventilation non-protectrice (différence moyenne de -2,45 jours, IC95% -4,17 à -0,72, P = 0,006).

Ces données ont été récemment complétées par les résultats de l'étude multicentrique PROVHILO dans laquelle 900 patients opérés d'une chirurgie abdominale par laparotomie ont été inclus [29]. Afin de mieux évaluer les bénéfices de l'application d'un haut ou d'un bas niveau de PEP chez les patients ventilés avec un VT réduit, les patients étaient randomisés en 2 groupes : groupe basse PEP (application d'une PEP ≤ 2 cmH₂O, n = 447 patients), groupe haute PEP (PEP = 12 cmH₂O et réalisation de manœuvres de recrutement alvéolaire après intubation, avant extubation et lors de toute déconnexion du ventilateur, n = 453 patients). Tous les patients étaient ventilés avec un VT de 8 ml/kg de PIT. Le critère de jugement principal était un critère composite de complications pulmonaires postopératoires dans les 5 jours après chirurgie. Des complications pulmonaires étaient enregistrées chez 174 (40 %) patients dans le groupe haute PEP et 172 (39 %) patients dans le groupe basse PEP (RR = 1,29 [IC95% 1,10-1,51], p = 0,0016). Par rapport à la stratégie basse PEP, l'application d'une stratégie associant haute PEP et réalisation de manœuvres de recrutement alvéolaire était associée à une incidence plus fréquente d'hypotension artérielle (définie par une PAS < 90 mmHg pendant plus de 3 minutes), à un recours plus fréquent aux vasopresseurs et en l'administration d'un volume liquidien plus important. La conclusion des auteurs de ce travail était que le bénéfice d'une stratégie de ventilation prophylactique provient essentiellement de la réduction du VT et que, en conséquence, l'application d'une haute PEP et la réalisation de manœuvres de recrutement alvéolaire ne peuvent être envisagées.

Si le bénéfice d'une réduction du VT ne peut être remis en question [30], plusieurs remarques importantes méritent d'être considérées [31]. Premièrement, il convient de garder à l'esprit que l'étude PROVHILO ne démontre pas la supériorité de la stratégie utilisant un VT de 8 ml/kg de PIT et une PEP ≤ 2 cmH₂O sans recrutement alvéolaire. Il est d'ailleurs troublant de constater une incidence aussi élevée de complications pulmonaires dans ce travail (40 % versus 39 %) alors qu'une incidence de l'ordre de 13 % pouvait être attendue chez des patients présentant un risque intermédiaire de complications pulmonaires (score ARISCAT de 26-44 points, pour 75 % des patients inclus), sur les données de l'étude PERISCOPE [32]. Deuxièmement, comme évoqué plus haut, il n'existe pas de données ayant démontré la supériorité d'une stratégie de ventilation utilisant uniquement un bas VT par rapport à l'association d'un bas VT et d'une PEP. Dans une méta-analyse conduite par les mêmes auteurs que le travail précédent [9], dont certains résultats ont été évoqués précédemment, il est important de noter que le niveau moyen de PEP appliqué dans les études retenues, et ayant montré une supériorité d'une ventilation à bas niveau de VT, était en moyenne de 6,4 ± 2,4 cmH₂O. S'il n'existe pas de rationnel physiologique en faveur de l'absence de l'utilisation d'une PEP, il n'existe pas non plus d'argument en faveur de l'application d'une PEP de 12 cmH₂O chez des patients à

poumons sains, tel que ceci a été évalué dans l'étude PROVHILO. Il est d'ailleurs assez curieux d'envisager l'application, en routine clinique au bloc opératoire chez des patients ne présentant pas de pathologie pulmonaire, d'un tel niveau de PEP alors même que les données récentes issues d'une large étude cohorte [33] ont rapporté l'utilisation d'un niveau moyen de PEP de $9,2 \pm 3,8$ cmH₂O chez des patients ayant un SDRA. Ainsi, il est de notre avis que les résultats de l'étude PROVHILO, bien qu'apportant des informations importantes notamment quant au risque d'événements indésirables hémodynamiques lors de l'application de niveaux trop élevés de PEP, ne peuvent soutenir l'interprétation qui en est faite par ses auteurs.

Conclusion

Au bloc opératoire, comme en réanimation, de nombreux arguments physiologiques et cliniques plaident désormais pour une utilisation raisonnée de la ventilation mécanique. En raison du nombre de patients exposés chaque année, il est important de garder à l'esprit que des réglages inadaptés, particulièrement l'utilisation d'un VT trop important, mais également l'utilisation d'un VT réduit sans PEP, peuvent participer à l'apparition de complications pulmonaires postopératoires, y compris chez des patients ayant des poumons antérieurement sains.

A cet effet, les résultats disponibles désormais dans la littérature doivent nous inciter à modifier notre approche de la ventilation mécanique lors de chirurgies abdominales en associant un VT de 6 à 8 ml/kg de PIT, une PEP modérée (de 6 à 8 cmH₂O) et l'utilisation de manœuvres de recrutement alvéolaire appliquées précocement après intubation trachéale et, probablement, répétées au cours de l'intervention chirurgicale. Cette approche multi-facette de la ventilation mécanique peut être élégamment intégrée dans une stratégie globale périopératoire (concept de POP ventilation) [34] visant à limiter le risque de collapsus alvéolaire lors de la période à risque chirurgicale en associant une utilisation de la VNI lors de la phase de pré-oxygénation et l'application d'une pression positive après extubation (CPAP ou VNI), particulièrement chez les patients les plus à risques de complications pulmonaires postopératoires.

Références

1. Weiser TG, Regenbogen SE, Thompson KD, et al. An estimation of the global volume of surgery: a modelling strategy based on available data. *Lancet* 2008; 372: 139-44.
2. Khuri SF, Henderson WG, DePalma RG, et al. Determinants of long-term survival after major surgery and the adverse effect of postoperative complications. *Ann Surg* 2005; 242: 326-41.
3. Lawrence VA, Dhanda R, Hilsenbeck SG, et al. Risk of pulmonary complications after elective abdominal surgery. *Chest* 1996; 110: 744-50.
4. Brueckmann B, Villa-Urbe JL, Bateman BT, et al. Development and Validation of a Score for Prediction of Postoperative Respiratory Complications. *Anesthesiology* 2013; 118: 1276-85.
5. Bendixen HH, Hedley-Whyte J and Laver MB. Impaired Oxygenation in Surgical Patients during General Anesthesia with Controlled Ventilation. A Concept of Atelectasis. *N Engl J Med* 1963; 269: 991-6.
6. Shapiro BA. and Peruzzi WT. Respiratory care. In: R. D. Miller, Ed. *Anesthesia*. 5th ed. Philadelphia, Pennsylvania: Churchill Livingstone; 2000. p. 2403-43.
7. The Acute Respiratory Distress Syndrome Network. Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med* 2000; 342: 1301-8.
8. Putensen C, Theuerkauf N, Zinserling J, et al. Meta-analysis: ventilation strategies and outcomes of the acute respiratory distress syndrome and acute lung injury. *Ann Intern Med* 2009; 151: 566-76.
9. Serpa Neto A, Cardoso SO, Manetta JA, et al. Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. *JAMA* 2012; 308: 1651-9.
10. Carney D, DiRocco J and Nieman G. Dynamic alveolar mechanics and ventilator-induced lung injury. *Crit Care Med* 2005; 33: S122-8.
11. Choi G, Wolthuis EK, Bresser P, et al. Mechanical ventilation with lower tidal volumes and positive end-expiratory pressure prevents alveolar coagulation in patients without lung injury. *Anesthesiology* 2006; 105: 689-95.
12. Gajic O, Dara SI, Mendez JL, et al. Ventilator-associated lung injury in patients without acute lung injury at the onset of mechanical ventilation. *Crit Care Med* 2004; 32: 1817-24.
13. Lellouche F, Dionne S, Simard S, et al. High tidal volumes in mechanically ventilated patients increase organ dysfunction after cardiac surgery. *Anesthesiology* 2012; 116: 1072-82.
14. Bouadma L, Dreyfuss D, Ricard JD, et al. Mechanical ventilation and hemorrhagic shock-resuscitation interact to increase inflammatory cytokine release in rats. *Crit Care Med* 2007; 35: 2601-6.
15. Levin MA, McCormick PJ, Lin HM, et al. Low intraoperative tidal volume ventilation with minimal PEEP is associated with increased mortality. *Br J Anaesth* 2014; 113: 97-108.
16. Futier E, Constantin JM, Petit A, et al. Positive end-expiratory pressure improves end-expiratory lung volume but not oxygenation after induction of anaesthesia. *Eur J Anaesthesiol* 2010; 27: 508-13.
17. Duggan M and Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: a pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology* 2005; 102: 838-54.
18. Imberger G, McIlroy D, Pace NL, et al. Positive end-expiratory pressure (PEEP) during anaesthesia for the prevention of mortality and postoperative pulmonary complications. *Cochrane Database Syst Rev* 2010: CD007922.

19. Pelosi P, Ravagnan I, Giurati G, et al. Positive end-expiratory pressure improves respiratory function in obese but not in normal subjects during anesthesia and paralysis. *Anesthesiology* 1999; 91: 1221-31.
20. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, et al. Intraoperative recruitment maneuver reverses detrimental pneumoperitoneum-induced respiratory effects in healthy weight and obese patients undergoing laparoscopy. *Anesthesiology* 2010; 113: 1310-9.
21. Cinnella G, Grasso S, Spadaro S, et al. Effects of Recruitment Maneuver and Positive End-expiratory Pressure on Respiratory Mechanics and Transpulmonary Pressure during Laparoscopic Surgery. *Anesthesiology* 2012; 118:114-22.
22. Hedenstierna G and Edmark L. The effects of anesthesia and muscle paralysis on the respiratory system. *Intensive Care Med* 2005; 31: 1327-35.
23. Reinius H, Jonsson L, Gustafsson S, et al. Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study. *Anesthesiology* 2009; 111: 979-87.
24. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, et al. Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients: a randomized controlled study. *Anesthesiology* 2011; 114: 1354-63.
25. Almarakbi WA, Fawzi HM and Alhashemi J. A. Effects of four intraoperative ventilatory strategies on respiratory compliance and gas exchange during laparoscopic gastric banding in obese patients. *Br J Anaesth* 2009; 102: 862-8.
26. Aldenkortt M, Lysakowski C, Elia N, et al. Ventilation strategies in obese patients undergoing surgery: a quantitative systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth* 2012; 109: 493-502.
27. Severgnini P, Selmo G, Lanza C, et al. Protective Mechanical Ventilation during General Anesthesia for Open Abdominal Surgery Improves Postoperative Pulmonary Function. *Anesthesiology* 2013; 118: 1307-21.
28. Futier E, Constantin JM, Paugam-Burtz C, et al. A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery. *N Engl J Med* 2013; 369: 428-37.
29. Hemmes SN, Gama de Abreu M, Pelosi P, et al. High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): a multicentre randomised controlled trial. *Lancet* 2014; 384: 495-503.
30. Neto AS, Hemmes SN, Barbas CS, et al. Incidence of mortality and morbidity related to postoperative lung injury in patients who have undergone abdominal or thoracic surgery: a systematic review and meta-analysis. *Lancet Respir Med* 2014; 2: 1007-15.
31. Futier E. Positive end-expiratory pressure in surgery: good or bad? *Lancet* 2014; 384: 472-4.
32. Mazo V, Sabate S, Canet J, et al. Prospective external validation of a predictive score for postoperative pulmonary complications. *Anesthesiology* 2014; 121: 219-31.
33. Esteban A, Frutos-Vivar F, Muriel A, et al. Evolution of mortality over time in patients receiving mechanical ventilation. *Am J Respir Crit Care Med* 2013; 188: 220-30.
34. Futier E, Marret E and Jaber S. Perioperative positive pressure ventilation: an integrated approach to improve pulmonary care. *Anesthesiology* 2014; 121: 400-8.