

Recrutamento alveolar: em quem? como? quando?

Alveolar recruitment: who needs? how? when?

Alexandre Silva Pinto¹, Maxwell dos Reis², Carolina Lima Coelho Teixeira³, Roberto Cardoso Junior⁴, Allan Patryck Bassotto Lino⁵

DOI: 10.5935/2238-3182.20150061

RESUMO

O advento da ventilação mecânica moderna trouxe inúmeros benefícios para o manejo anestésico e de pacientes críticos em unidades de cuidados intensivos. Acompanhando essa evolução vieram as complicações relacionadas ao controle ventilatório do paciente. A atelectasia é o principal evento complicador pulmonar dos pacientes submetidos à anestesia geral. As manobras de recrutamento alveolar são uma opção na tentativa de aumentar as unidades alveolares abertas, evitando, assim, a atelectasia pulmonar. Esse efeito pode ser mais ou menos duradouro, a depender da estratégia adotada para o recrutamento. O conhecimento das formas de recrutamento e suas peculiaridades, dos pacientes candidatos a essas manobras e do momento de realização das mesmas é extremamente importante, na tentativa de evitar as complicações per e pós-operatórias relacionadas ao colapso alveolar.

Palavras-chave: Atelectasia Pulmonar; Anóxia; Cirurgia Torácica; Anestesiologia.

ABSTRACT

The advent of modern mechanical ventilation brought numerous benefits to the anesthetized and critically ill patients in intensive care management. Accompanying this evolution came the complications related to the patient's ventilatory control. Atelectasis is the main event complicating pulmonary patients undergoing general anesthesia. The alveolar recruitment maneuvers are an option in an attempt to increase alveolar units open, thus preventing pulmonary atelectasis. This effect can be more or less permanent, depending on the strategy for recruitment. Knowledge of the methods of recruitment and its peculiarities, the eligible patients and the best time to perform these maneuvers, are extremely important in an attempt to avoid postoperative complications related to alveolar collapse.

Key words: Pulmonary Atelectasis; Anoxia; Thoracic Surgery; Anesthesiology.

INTRODUÇÃO

A ventilação mecânica (VM) tem contribuído para aumentar a sobrevivência em diversas situações clínicas, mas apesar do grande avanço, quando utilizada de forma inadequada, pode contribuir aumentando a taxa de morbimortalidade. A VM pode causar ou perpetuar a lesão pulmonar se a cada respiração ocorrerem hiperdistensão e colapso das unidades alveolares de forma cíclica. A ativação do processo inflamatório no tecido pulmonar, resultante das lesões induzidas por colapso e reabertura alveolares repetidas, pode ser prevenida com o uso de pressão positiva ao final da expiração (PEEP), que mantém as unidades alveolares estáveis, prevenindo seu colapso.

Instituição:
Hospital Márcio Cunha / Fundação São Francisco Xavier
Ipatinga, MG – Brasil

Autor correspondente:
Alexandre Silva Pinto
E-mail: alexandre.s@usiminas.com

Complicações pulmonares pós-operatórias após intervenções cirúrgicas de grande porte têm sido descritas desde o início do século XX, sendo tratadas com o uso de altas concentrações inspiradas de oxigênio. Após a introdução da ventilação mecânica intraoperatória na prática anestésica, começou-se a observar redução progressiva da complacência pulmonar e deterioração da oxigenação sanguínea ao longo de procedimentos cirúrgicos, mesmo em pacientes com função pulmonar previamente normal. Bendixen *et al.* observaram que hiperinsuflações pulmonares consecutivas durante anestesia eram capazes de restaurar a oxigenação arterial e a complacência pulmonar. Desde então, diversos estudos têm avaliado os fatores relacionados ao desenvolvimento de atelectasias durante o período intraoperatório e a utilização de manobras de recrutamento alveolar.

A manobra de recrutamento alveolar (MRA) é processo dinâmico de aumento transitório e intencional na pressão pulmonar com o objetivo de recrutar unidades alveolares colapsadas, aumentando a área pulmonar disponível para a troca gasosa e, conseqüentemente, a oxigenação arterial.

FISIOPATOLOGIA DA ATELECTASIA _____

Cerca de 3% das cirurgias eletivas com abordagens abdominais ou torácicas estão associadas a algum tipo de complicação pulmonar pós-operatória.^{1,2} A formação de atelectasia é uma das complicações mais frequentes no período pós-operatório, podendo acometer até 90% dos pacientes.^{3,4} A grande maioria dos casos se resolve nas primeiras 24h, porém algumas podem durar dias.^{5,6} Discute-se que a atelectasia pode contribuir para a ocorrência de outras complicações respiratórias, principalmente em pós-operatórios de cirurgia cardíaca, cirurgia abdominal e também em pacientes obesos.^{7,8}

Existem três causas prováveis para as atelectasias perioperatórias que podem ocorrer de forma isolada ou simultaneamente.

A compressão alveolar acontece por alteração da mecânica ventilatória com queda da capacidade residual funcional (CRF) e da complacência torácica, modificando as forças exercidas sobre os alvéolos. A diminuição da CRF de um paciente anestesiado é de cerca de 20 mL/kg, o que a aproxima do volume residual e pode culminar com o fechamento da via aérea de pequeno calibre, que não dispõe de tecido de sus-

tentação suficiente para evitar esse colapso.⁹⁻¹¹ O fator essencial para a formação da atelectasia é a perda do tônus muscular diafragmático. O uso de bloqueador neuromuscular promove essa perda do tônus e a transmissão da pressão abdominal para o tórax, elevando o diafragma e aumentando a pressão intratorácica com conseqüente compressão alveolar.^{9,12,13}

A oclusão completa da via aérea de pequeno calibre cursará com absorção do gás alveolar por diferença de gradiente e também pela diferença entre volume ofertado e volume captado de gás em áreas pulmonares com baixa relação ventilação/perfusão (V/Q). Essa captação gasosa acaba evoluindo com colapso e fechamento alveolar. Esse efeito é agravado quando se administra mistura de gases com alta solubilidade no sangue, como o óxido nítrico.¹⁴⁻¹⁶

A alteração na produção do surfactante parece ter menos influência na anestesia devido à sua longa meia-vida.¹⁷ A formação de atelectasia, via de regra, cursa com queda na produção do surfactante e aumento da tendência ao colapso alveolar.^{18,19} Além desse problema, o repetido fechamento e reabertura alveolar levam à queda na produção do surfactante e a conseqüente redução da CRF com as conseqüências já vistas anteriormente.⁸

Existem ainda alguns fatores que são facilitadores na formação de atelectasia.

- **obesidade:** tem menos CRF e mais pressão abdominal, favorecendo o colapso alveolar;⁵
- **anestesia:** a indução da anestesia é o ponto crítico para favorecer o surgimento da atelectasia.²⁰ Perda da tonicidade muscular diafragmática com compressão das estruturas intratorácicas;
- **cirurgia:** atelectasia atinge ponto máximo nos primeiros minutos de anestesia, independentemente do tipo de cirurgia.¹⁰ Existe ainda queda da CRF devido à dor e à hipoventilação de até 20%. Em alguns tipos de procedimento cirúrgico pode haver formação de atelectasia em níveis superiores a esse citado. São exemplos: laparoscopias,^{21,22} cirurgias torácicas²³ e as cirurgias cardíacas com circulação extracorpórea (CEC);²⁴⁻²⁶
- **idade:** as crianças estão no grupo de risco, pois apresentam atelectasia de forma mais frequente, devido à reduzida CRF e à acentuada complacência da caixa torácica;²⁷
- **altas FiO₂:** elevadas frações inspiradas de oxigênio, independentemente do momento anestésico-cirúrgico favorecem a atelectasia e a ocorrência de *shunt* pulmonar.²⁷⁻²⁹

- **parâmetros ventilatórios:** algumas modalidades de ventilação favorecem a formação de atelectasias pulmonares, como é o caso da ventilação com baixos volumes correntes e sem PEEP em pacientes não portadores de doença pulmonar.³⁰

Existe uma série de problemas que são decorrentes da atelectasia pulmonar e essas consequências podem ser danosas ao paciente. Vão desde o aparecimento de infecção pulmonar, pela diminuição da penetração do antibiótico,³¹ passando pela queda na oxigenação, com aumento de áreas de *shunts* ligados à atelectasia,²⁰ chegando à piora da lesão pulmonar, que ocorre devido a aberturas e fechamentos repetidos com áreas hiperinfladas, podendo ocasionar o "atelectrauma".^{8,30}

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi identificar, com base na revisão da literatura, a importância da manobra de recrutamento alveolar na anestesia, quais as técnicas disponíveis para sua execução, quais são os pacientes elegíveis para tal procedimento e o melhor momento para a realização do mesmo.

EM QUEM E QUANDO?

Apesar das MRAs serem amplamente difundidas no tratamento da síndrome da angústia respiratória do adulto (SDRA), a literatura também demonstra bons resultados quando empregada em pacientes submetidos à anestesia geral.

Como explicado anteriormente, pacientes cirúrgicos submetidos à anestesia geral cursam com diminuição da capacidade residual funcional, aumento do volume de fechamento pulmonar, formação de atelectasias³²⁻³⁸ (que aparecem em cinco minutos após o início da anestesia)³⁸ e aumento do *shunt* intrapulmonar. A formação de atelectasias é uma das complicações mais frequentes durante o período perioperatório, podendo ocorrer em até 90% dos pacientes.^{3,4,34-36,38-44}

Portanto, o recrutamento está indicado nos pacientes que durante a anestesia geral apresentam piora da troca gasosa mostrada pela redução da relação (PaO₂/FiO₂), nos pacientes que estão usando FiO₂ elevada⁴⁵ e naqueles ventilados zero PEEP (ZEEP) ou com PEEP baixa.⁴⁶

Situações em que o paciente for desconectado do respirador (mudança de decúbito, aspiração traqueal, transporte do paciente ou apneia cirúrgica), mesmo que seja por breve período de tempo, podem cursar com colapso alveolar^{47,48} e as manobras de recrutamento são benéficas.

A situação pode se tornar mais grave quando a técnica cirúrgica ou as características dos pacientes favorecem as alterações induzidas pela VM. Como exemplos têm-se as cirurgias laparoscópicas, cirurgias com ventilação monopulmonar, cirurgias cardíacas, cirurgias em pacientes obesos e em pacientes pediátricos (anestesiados com ventilação espontânea) que cursam com piora da oxigenação arterial no pós-operatório de forma mais intensa.^{35,37,41,49}

Cirurgia em pacientes obesos

Os pacientes obesos submetidos à anestesia geral são especialmente suscetíveis a essas alterações, pois apresentam lento reestabelecimento da função pulmonar, quando comparados a não obesos.^{50,51}

A fisiologia respiratória pode permanecer alterada por até duas semanas, aumentando a incidência de complicações como retenção de gás carbônico, atelectasias e infiltrado broncopulmonar,^{52,53} elevando a taxa de morbimortalidade.⁵⁴

Portanto, diferentes estratégias ventilatórias têm sido investigadas com o objetivo de melhorar a oxigenação e função respiratória pós-operatórias desse grupo de pacientes.^{55,56} E os estudos demonstram que as MRAs são eficazes na prevenção de complicações pulmonares, estando associadas a melhor oxigenação e mecânica respiratória nessa população.

Ficou evidente que a repetição das manobras de recrutamento alveolar, além de aprimorar a troca gasosa e mecânica respiratória, mantém seus efeitos benéficos no período pós-operatório.^{52,57-67}

Cirurgia cardíaca e torácica

O desenvolvimento de atelectasias constitui a complicação mais comum no pós-operatório de cirurgia cardíaca e torácica,^{8,43} sendo aproximadamente seis vezes maior do que o observado em cirurgias abdominais.⁶⁸ As alterações pulmonares associadas a esses procedimentos possuem fisiopatologia multifatorial e são resultado da combinação de diversos fatores.

Entre eles citam-se a compressão dos pulmões por estruturas mediastinais, a esternotomia, o manuseio cirúrgico da cavidade pleural, a inatividade dos pulmões durante a CEC ou ventilação monopulmonar, o aumento do volume de água extravascular pulmonar, alteração do surfactante e o uso de altas frações inspiradas de oxigênio no período intraoperatório.⁶⁹⁻⁷¹

Estudos têm demonstrado que as estratégias de recrutamento alveolar melhoram a função respiratória no pós-operatório de cirurgia cardíaca.^{33,69,72} Além dos benefícios diretos, como a reversão de atelectasia e melhora da oxigenação arterial, há também redução da resistência vascular pulmonar associada à hipóxia, melhorando, assim, o desempenho do ventrículo direito.

A associação desses fatores contribui para reduzir a necessidade de ventilação mecânica no pós-operatório.^{70,73}

Cirurgia em pacientes pediátricos

As crianças (principalmente até os três anos de idade) têm a parede torácica muito deformável, podendo, durante a contração do diafragma, apresentar movimento paradoxal do tórax. A complacência pulmonar está diminuída, levando a reduzida capacidade residual funcional em relação aos adultos.⁷⁴⁻⁷⁶ Esse grupo de pacientes é mais suscetível à fadiga muscular e obstrução das vias aéreas inferiores, principalmente quando eles são submetidos à anestesia sob ventilação espontânea. Por essas razões, tem mais chances de manifestar atelectasias do que os adultos.⁷⁷

Observou-se que a aplicação de uma estratégia de recrutamento alveolar e utilização de PEEP de 5 cmH₂O durante toda a anestesia é capaz de recrutar unidades alveolares e evitar o surgimento de atelectasias.^{41,78}

Deve-se, portanto, quando possível, evitar a anestesia geral sob ventilação espontânea nesses pacientes, porém quando a criança for mantida anestesiada ventilando espontaneamente, manobras de recrutamentos devem ser executadas antes da extubação.

COMO?

Diferentes métodos são propostos para a realização do recrutamento alveolar: insuflação sustentada com alto nível de PEEP, aumento simultâneo da PEEP e volume corrente, aumento progressivo da PEEP com valor fixo de pressão inspiratória e elevação simultâ-

nea de pressão inspiratória e PEEP no modo pressão controlada.⁴² Entre os estudos desta revisão, foram encontrados diversos tipos de técnicas, entre elas: limitação de pressão de pico em 40 cmH₂O com PEEP de 20 cmH₂O por dois a três minutos; pressão inspiratória fixa em 15 a 20 cmH₂O com PEEP de 35 cmH₂O durante dois minutos;^{40,72,81} PEEP de 40 cmH₂O durante 15 segundos a cada 10 minutos,^{42,80} PEEP de 10 cmH₂O por 10 minutos seguida de elevação de PEEP de 40 cmH₂O por 40 segundos com retorno à PEEP de 10 cmH₂O.⁶⁰

Como já descrito, a manobra de recrutamento é realizada para diversos tipos de cirurgia, e entre um tipo e outro pode-se ter diferentes descrições da técnica, apesar dos objetivos almejados serem os mesmos. Para pacientes submetidos à cirurgia cardíaca, a técnica mais utilizada é a aplicação de PEEP, que varia de 30 a 45 cmH₂O por 30 a 40 segundos.¹⁰ Em pacientes submetidos à anestesia geral, a manobra de recrutamento foi realizada com elevação da pressão de pico em 40 cmH₂O, por 15 segundos. Nessa técnica, a conclusão dos autores foi que após sete segundos houve melhora da PaO₂ e reversão de atelectasias em observação por tomografia computadorizada. O tempo reduzido de manobra tem como benefício menos incidência de diminuição de débito cardíaco e pressão arterial.^{3,10} Pacientes de cirurgias laparoscópicas apresentaram melhora da oxigenação com manobras de elevação de pressão de pico em 40 cmH₂O por 10 incursões ou um minuto com retorno à PEEP de 5 cmH₂O.³⁵ Já em crianças sob VM, a manobra de recrutamento mais frequentemente empregada é a que consiste em aplicar a pressão positiva contínua em via aérea (CPAP) de 30 até 40 cmH₂O por 30-40 segundos.⁸¹

Em geral, o recrutamento alveolar deve ser seguido pelo ajuste dos níveis de PEEP, que desempenha importante papel na manutenção da eficácia das manobras, impedindo o desrecrutamento e prevenindo “atelectrauma”, proporcionando mais estabilidade de alvéolo após o recrutamento. Foi evidenciado que a realização do recrutamento e manutenção de PEEP em 10 cmH₂O obtiveram melhor índice de oxigenação nos períodos intraoperatório e pós-operatório, bem como atelectasias e complicações pulmonares menores.⁵⁷ A recomendação atual, após a manobra de recrutamento, é manter uma PEEP mínima entre 5 e 6 cmH₂O.^{3,37,45,82,83} Em pacientes obesos, este resultado também foi observado, o que confirma que a manutenção de PEEP aprimora os benefícios da manobra de recrutamento.²

Outra variável discutida nos trabalhos avaliados é qual a melhor maneira de manejo do incremento na PEEP, se seria sua elevação súbita ou gradual. Foi evidenciado que o aumento súbito da PEEP demonstrou a melhor resposta da relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$.⁶⁰

No documento “Diretrizes Brasileiras de Ventilação Mecânica de 2013” sugere-se utilizar a manobra de recrutamento, sendo que, entre as mais citadas na literatura, encontra-se aquela no qual se mantém uma pressão de platô entre 40 e 45 cmH_2O por 60 segundos.⁸⁴

Entre as principais contraindicações para a realização do recrutamento alveolar, estão a instabilidade hemodinâmica, hipotensão, agitação psicomotora, doença pulmonar obstrutiva crônica, fístulas broncopleurais, hemoptise, pneumotórax não drenado e hipertensão intracraniana.^{40,79,80}

COMENTÁRIO

Em recentes revisões sobre o tratamento da síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA), a manobra de recrutamento alveolar e a manutenção de PEEP elevada mostram-se efetivas na melhora da oxigenação em significativo número de pacientes. Apesar de a maioria das descrições de utilização da manobra de recrutamento ser no contexto da SDRA, essa intervenção é descrita também para condições que produzam hipoxemia, após aspiração traqueal, ventilação no pós-operatório e atelectasias em pacientes submetidos à anestesia geral.

Não existe consenso sobre qual a melhor forma nem quais parâmetros ideais a serem utilizados, apesar de vários estudos compararem métodos, eficácia e eventos adversos.

Os efeitos esperados da MRA na anestesiologia têm sido alcançados com a reversão da atelectasia e aumento da CRF. Esses efeitos são diferentes daqueles esperados em pacientes com SDRA, cujo objetivo principal é a diminuição da mortalidade, o que torna o recrutamento nesse grupo uma terapia de resgate.

Embora bastante estudada e utilizada no tratamento da SDRA, o recrutamento alveolar ainda não é realizado de forma rotineira pelos anestesiológicos.

CONCLUSÃO

A MRA parece ter relevância no manejo peroperatório de pacientes que estão sob risco aumentado de

desenvolver atelectasia durante e após o procedimento cirúrgico. Esse benefício seria a redução das complicações pós-operatórias pela reversão das atelectasias e a melhoria na oxigenação desses pacientes.

Os estudos avaliando a MRA em pacientes submetidos à anestesia ainda são poucos, fazendo-se necessários mais estudos para definir-se o verdadeiro benefício do seu emprego nesse grupo.

REFERÊNCIAS

1. Maceiras PR. Atelectasias perioperatorias y maniobras de reclutamiento alveolar. *Arc Bronconeumol.* 2010; 46(6):317-24.
2. Hedenstierna G. Alveolar collapse and closure of airways: Regular effects of anaesthesia. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2003; 23:123-9.
3. Duggan M, Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: A pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology.* 2005; 102:838-54.
4. Cai H, Gong H, Zhang L, Wang Y, Tian Y. Effect of low tidal volume ventilation on atelectasis in patients during general anesthesia: A computed tomographic scan. *J Clin Anesth.* 2007; 19:125-9.
5. Eichenberger A, Proietti S, Wicky S, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR, et al. Morbid obesity and postoperative pulmonary atelectasis: An underestimated problem. *Anesth Analg.* 2002; 95:1788-92.
6. Strandberg A, Tokics L, Brismar B, Lundquist H, Hedenstierna G. Atelectasis during anaesthesia and in the postoperative period. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1986; 30:154-8.
7. Warner DO. Preventing postoperative pulmonary complications: The role of the anesthesiologist. *Anesthesiology.* 2000; 92:1467-72.
8. Kavanagh BP. Perioperative atelectasis. *Minerva Anesthesiol.* 2008; 74:285-7.
9. Hedenstierna G, Strandberg A, Brismar B, Lundquist H, Svensson L, Tokics L. Functional residual capacity, thoracoabdominal dimensions, and central blood volume during general anesthesia with muscle paralysis and mechanical ventilation. *Anesthesiology.* 1985; 62:247-54.
10. Hedenstierna G, Edmark L. The effects of anesthesia and muscle paralysis on the respiratory system. *Intensive Care Med.* 2005; 31:1327-35.
11. Craig DB. Postoperative recovery of pulmonary function. *Anesth Analg.* 1981; 60:46-52.
12. Magnusson L, Spahn DR. New concepts of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth.* 2003; 91:61-72.
13. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, Wegenius G, Reber A, Hedenstierna G. Atelectasis and pulmonary shunting during induction of general anaesthesia – can they be avoided? *Acta Anaesthesiol Scand.* 1996; 40:524-9.
14. Lumb AB. Just a little oxygen to breathe as you go off to sleep is it always a good idea? *Br J Anaesth.* 2007; 99:769-71.
15. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, Wegenius G, Hogman M, Hedenstierna G. Influence of gas composition on recurrence of atelectasis after a reexpansion maneuver during general anesthesia. *Anesthesiology.* 1995; 82:832-42.

16. Joyce CJ, Baker AB, Kennedy RR. Gas uptake from an unventilated area of lung: Computer model of absorption atelectasis. *J Appl Physiol*. 1993; 74:1107-16.
17. Duggan M, Kavanagh BP. Pulmonary atelectasis: A pathogenic perioperative entity. *Anesthesiology*. 2005; 102:838-54.
18. Hedenstierna G. Invited editorial on "Kinetics of absorption atelectasis during anesthesia: A mathematical model". *J Appl Physiol*. 1999; 86:1114-5.
19. Papadakos PJ, Lachmann B. The open lung concept of mechanical ventilation: The role of recruitment and stabilization. *Crit Care Clin*. 2007; 23:241.
20. Tokics L, Hedenstierna G, Strandberg A, Brismar B, Lundquist H. Lung collapse and gas exchange during general anesthesia: Effects of spontaneous breathing, muscle paralysis, and positive end-expiratory pressure. *Anesthesiology*. 1987; 66:157-67.
21. Andersson LE, Baath M, Thorne A, Aspelin P, Odeberg-Werner S. Effect of carbon dioxide pneumoperitoneum on development of atelectasis during anesthesia, examined by spiral computed tomography. *Anesthesiology*. 2005; 102:293-9.
22. Strang CM, Hachenberg T, Freden F, Hedenstierna G. Development of atelectasis and arterial to end-tidal PCO₂-difference in a porcine model of pneumoperitoneum. *Br J Anaesth*. 2009; 103:298-303.
23. Cinnella G, Grasso S, Natale C, Sollitto F, Cacciapaglia M, Angiolillo M, *et al*. Physiological effects of a lung-recruiting strategy applied during one-lung ventilation. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2008; 52:766-75.
24. Hedenstierna G, Tenling A. The lung during and after thoracic anaesthesia. *Curr Opin Anaesthesiol*. 2005; 18:23-8.
25. Celebi S, Koner O, Menda F, Korkut K, Suzer K, Cakar N. The pulmonary and hemodynamic effects of two different recruitment maneuvers after cardiac surgery. *Anesth Analg*. 2007; 104:384-90.
26. Kaditis AG, Motoyama EK, Zin W, Maekawa N, Nishio I, Imai T, *et al*. The effect of lung expansion and positive end-expiratory pressure on respiratory mechanics in anesthetized children. *Anesth Analg*. 2008; 106:775-85.
27. Reber A, Engberg G, Wegenius G, Hedenstierna G. Lung aeration. The effect of pre-oxygenation and hyperoxygenation during total intravenous anaesthesia. *Anaesthesia*. 1996; 51:733-7.
28. Benoit Z, Wicky S, Fischer JF, Frascarolo P, Chapuis C, Spahn DR, *et al*. The effect of increased FIO₂ before tracheal extubation on postoperative atelectasis. *Anesth Analg*. 2002; 95:1777-81.
29. Rothen HU, Sporre B, Engberg G, Wegenius G, Reber A, Hedenstierna G. Prevention of atelectasis during general anaesthesia. *Lancet*. 1995; 345:1387-91.
30. Malbouisson LM, Humberto F, Rodrigues RR, Carmona MJ, Auler JO. Atelectasis during anesthesia: Pathophysiology and treatment. *Rev Bras Anestesiologia*. 2008; 58:73-83.
31. Hutschala D, Kinstner C, Skhirtladze K, Mayer-Helm BX, Zeitlinger M, Wisser W, *et al*. The impact of perioperative atelectasis on antibiotic penetration into lung tissue: An in vivo microdialysis study. *Intensive Care Med*. 2008; 34:1827-34.
32. Auler JO Jr, Galas FR, Hajjar LA, Franca S. III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica: Ventilação mecânica no intra-operatório. *J Bras Pneumol*. 2007; 33(supl 2):s137-41.
33. Gonçalves LO, Cicarelli DD. Manobra de recrutamento alveolar em anestesia: como, quando e por que utilizá-la. *Rev Bras Anestesiologia*. 2005; 55(6):631-8.
34. Singh PK, Agarwal A, Gaur A, Deepali DA, Pandey CK, Singh U, *et al*. Increasing tidal volumes and PEEP is an effective method of alveolar recruitment. *Can J Anesth*. 2002; 49:755.
35. Pang CK, Yap J, Chen PP. The effect of an alveolar recruitment strategy on oxygenation during laparoscopic cholecystectomy. *Anaesth Intensive Care*. 2003; 31:176-80.
36. Rothen HU, Neumann P, Berglund JE, Valtysson J, Magnusson A, Hedenstierna G. Dynamics of re-expansion of atelectasis during general anaesthesia. *Br J Anaesth*. 1999; 82:551-556.
37. Tusman G, Bohm SH, Melkun F, Nador CR, Staltari D, Rodriguez A, *et al*. Effects of the alveolar recruitment manoeuvre and PEEP on arterial oxygenation in anesthetized obese patients. *Rev Esp Anestesiologia Reanim*. 2002; 49: 177-183.
38. Tusman G, Bohm SH, Vazquez de Anda GF, Campos JL, Lachmann. Alveolar recruitment strategy improves arterial oxygenation during general anaesthesia. *Br J Anaesth*. 1999; 82:8-13.
39. Lindberg P, Gunnarsson L, Tokics L, Secher E, Lundquist H, Brismar B, *et al*. Atelectasis and lung function in the postoperative period. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1992; 36:546-53.
40. Tusman G, Bohm SH, Sipmann FS, Maisch S. Lung recruitment improves the efficiency of ventilation and gas exchange during one-lung ventilation anesthesia. *Anesth Analg*. 2004; 98:1604-9.
41. Tusman G, Bohm SH, Tempira A, Melkun F, García E, Turchetto E, *et al*. Effects of recruitment maneuver on atelectasis in anesthetized children. *Anesthesiology*. 2003; 98:14-22.
42. Padovani C, Cavenaghi OM. Recrutamento alveolar em pacientes no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2011; 26(1):116-21.
43. Scherer M, Dettmer S, Meininger D, Deschka H, Geyer G, Regulla C, *et al*. Alveolar recruitment strategy during cardiopulmonary bypass does not improve postoperative gas exchange and lung function. *Cardiovasc Eng*. 2009; 9(1):1-5.
44. Figueiredo LC, Araújo S, Abdala RCS, Abdala A, Guedes CAV. CPAP de 10 cmH₂O durante a circulação extracorpórea não melhora a troca gasosa pós-operatória. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2008; 23(2):209-15.
45. Neumann P, Rothen HU, Berglund JE, Valtysson J, Magnusson A, Hedenstierna G. Positive end-expiratory pressure prevents atelectasis during general anaesthesia even in the presence of a high inspired oxygen concentration. *Acta Anaesthesiol Scand*. 1999; 43:295-301.
46. Lim SC, Adams AB, Simonson DA, Dries DJ, Broccard AF, Hotchkiss JR, *et al*. Intercomparison of recruitment maneuver efficacy in three models of acute lung injury. *Crit Care Med*. 2004; 32:2371-7.
47. Jonson B, Richard JC, Straus C, Mancebo J, Lemaire F, Brochard L. Pressure-volume curves and compliance in acute lung injury: evidence of recruitment above the lower inflection point. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999; 159:1172-8.
48. Maggiore SM, Lellouche F, Pigeot J, Taille S, Deye N, Durrmeyer X. Prevention of endotracheal suctioning-induced alveolar derecruitment in acute lung injury. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003 May 1; 167(9):1215-24.

49. Dyhr T, Laursen N, Larsson A. Effects of lung recruitment maneuver and positive end-expiratory pressure on lung volume, respiratory mechanics and alveolar gas mixing in patients ventilated after cardiac surgery. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2002; 46:717-25.
50. Forgiarini LA Jr, Rezende JC, Forgiarini SGI. Manobra de recrutamento alveolar e suporte ventilatório perioperatório em pacientes obesos submetidos à cirurgia abdominal. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2013; 25(4):312-8.
51. Talab HF, Zabani IA, Abdelrahman HS, Bukhari WL, Mamoun I, Ashour MA, *et al.* Intraoperative ventilatory strategies for prevention of pulmonary atelectasis in obese patients undergoing laparoscopic bariatric surgery. *Anesth Analg.* 2009; 109(5):1511-6.
52. Melo SM, Vasconcelos FA, Melo VA, Santos FA, Menezes-Filho RS, Melo BS. Cirurgia bariátrica: existe necessidade de internação em unidade de terapia intensiva? *Rev Bras Ter Intensiva.* 2009; 21(2):162-8.
53. Davis G, Patel JA, Gagne DJ. Pulmonary considerations in obesity and the bariatric surgery patient. *Med Clin N Am.* 2007; 91(3):433-42, xi.
54. Nguyen NT, Wolf BM. The physiologic effects of pneumoperitoneum in the morbidly obese. *Ann Surg.* 2005; 241(2):219-26.
55. Guimarães C, Martins MV, Moutinho dos Santos J. Função pulmonar em doentes obesos submetidos a cirurgia bariátrica. *Rev Port Pneumol.* 2012; 18(3):115-9.
56. Reinius H, Jonsson L, Gustafsson S, Sundbom M, Duvernoy O, Pelosi P, *et al.* Prevention of atelectasis in morbidly obese patients during general anesthesia and paralysis: a computerized tomography study. *Anesthesiology.* 2009; 111(5):979-87.
57. Remístico PP, Araújo S, Figueiredo LC, Aquim EE, Gomes LM, Sombrio ML, *et al.* Impacto da manobra de recrutamento alveolar no pós-operatório de cirurgia bariátrica videolaparoscópica. *Rev Bras Anesthesiol.* 2011; 61(2):163-76.
58. Chalhoub V, Yazigi A, Sleilaty G, Haddad F, Noun R, Madi-Jebara S, *et al.* Effect of vital capacity manoeuvres on arterial oxygenation in morbidly obese patients undergoing open bariatric surgery. *Eur J Anaesthesiol.* 2007; 24(3):283-8.
59. Almarakbi WA, Fawzi HM, Alhashemi JA. Effects of four intraoperative ventilatory strategies on respiratory compliance and gas exchange during laparoscopic gastric banding in obese patients. *Br J Anaesth.* 2009; 102(6):862-8.
60. Souza AP, Buschpigel M, Mathias LA, Malheiros CA, Alves VL. Análise dos efeitos da manobra de recrutamento alveolar na oxigenação sanguínea durante procedimento bariátrico. *Rev Bras Anesthesiol.* 2009; 59(2):177-86.
61. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, Chanques G, Kwiatkoski F, Jaber S, *et al.* Intraoperative recruitment maneuver reverses detrimental pneumoperitoneum-induced respiratory effects in healthy weight and obese patients undergoing laparoscopy. *Anesthesiology.* 2010; 113(6):1310-9.
62. Ahmed WG, Abu-Elnasr NE, Ghoneim SH. The effects of single vs. repeated vital capacity maneuver on arterial oxygenation and compliance in obese patients presenting for laparoscopic bariatric surgery. *Ain Shams J Anesthesiol.* 2012; 5(1):121-32.
63. Weingarten TN, Whalen FX, Warner DO, Gajic O, Schears GJ, Snider MR, *et al.* Comparison of two ventilatory strategies in elderly patients undergoing major abdominal surgery. *Br J Anaesth.* 2010; 104(1):16-22.
64. Hemmes SN, Severgnini P, Jaber S, Canet J, Wrigg H, Hiesmayr M *et al.* Rationale and study design of PROVHILO - a worldwide multicenter randomized controlled trial on protective ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery. *Trials.* 2011; 6(12):111-21.
65. Futier E, Constantin JM, Pelosi P, Chanques G, Massone A, Petit A, *et al.* Noninvasive ventilation and alveolar recruitment maneuver improve respiratory function during and after intubation of morbidly obese patients. *Anesthesiology.* 2011; 114(6):1354-63.
66. El-Sayed KM, Tawfeek MM. Perioperative ventilatory strategies for improving arterial oxygenation and respiratory mechanics in morbidly obese patients undergoing laparoscopic bariatric surgery. *Egypt J Anaesth.* 2012; 28(1):9-15.
67. Cakmakkaya OS, Kaya G, Altintas F, Hayirlioglu M, Ekici B. Restoration of pulmonary compliance after laparoscopic surgery using a simple alveolar recruitment maneuver. *J Clin Anesth.* 2009; 21(6):422-6.
68. Celebi S, Köner O, Menda F, Korkut K, Suzer K, Cakar N. The pulmonary and hemodynamic effects of two different recruitment maneuvers after cardiac surgery. *Anesth Analg.* 2007; 104(2):384-90.
69. Auler Jr JOC, Nozawa E, Toma EK, Degaki KL, Feltrim MIZ, Malbouisson LMS. Manobra de recrutamento alveolar na reversão da hipoxemia no pós-operatório imediato em cirurgia cardíaca. *Rev Bras Anesthesiol.* 2007; 57(5):476-88.
70. Malbouisson LMS, Brito M, Carmona MJC, Auler Jr JOC. Impacto hemodinâmico de manobra de recrutamento alveolar em pacientes evoluindo com choque cardiogênico no pós-operatório imediato de revascularização do miocárdio. *Rev Bras Anesthesiol.* 2008; 58(2):112-23.
71. Wasowicz M, Sobczynski P, Drwila R, Marszalek A, Biczysko W, Andres J. Air-blood barrier injury during cardiac operations with the use of cardiopulmonary bypass (CPB). An old story? A morphological study. *Scand Cardiovasc J.* 2003; 37(4):216-21.
72. Garutti I, Martinez G, Cruz P, Piñeiro P, Olmedilla L, de la Gala F. The impact of lung recruitment on hemodynamics during one-lung ventilation. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2009; 23(4):506-8.
73. Serita R, Morisaki H, Takeda J. An individualized recruitment maneuver for mechanically ventilated patients after cardiac surgery. *J Anesth.* 2009; 23(1):87-92.
74. Martinez G, Cruz P. Atelectasias en anesthesia general y estrategias de reclutamiento alveolar. *Rev Esp Anesthesiol Reanim.* 2008; 55:493-503.
75. Craig DB, Wahba WM, Don HF, Couture JG, Becklake MR. "Closing volume" and its relationship to gas exchange in seated and supine positions. *J Appl Physiol.* 1971; 31(5):717-21.
76. Gerhardt T, Bancalari E. Chestwall compliance in full-term and premature infants. *Acta Paediatr Scand.* 1980; 69:359-64.
77. Lam WW, Chen PP, So NM, Metreweli C. Sedation versus general anaesthesia in paediatric patients undergoing chest CT. *Acta Radiol.* 1998; 39:298-300.
78. Serafini G, Cornara G, Cavalloro F, Mori A, Dore R, Marraro G, *et al.* Pulmonary atelectasis during paediatric anaesthesia: CT scan evaluation and effect of positive end expiratory pressure (PEEP). *Paediatr Anaesth.* 1999; 9(3):225-8.

79. Borges JB, Okamoto VN, Matos GF, Caraméz MP, Arantes PR, Barros F, *et al.* Reversibility of lung collapse and hypoxemia in early acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med.* 2006; 174(3):268-78.
80. Meade MO, Cook DJ, Guyatt GH, Slutsky AS, Arabi YM, Cooper DJ, *et al.* Lung Open Ventilation Study Investigators. Ventilation strategy using low tidal volumes, recruitment maneuvers, and high positive end-expiratory pressure for acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: a randomized controlled trial. *JAMA.* 2008; 299(6):637-45.
81. Neves VC, Koliski A, Giraldi DJ. A manobra de recrutamento alveolar em crianças submetidas à ventilação mecânica em unidade de terapia intensiva pediátrica. *Rev Bras Ter Intensiva.* 2009; 21(4):453-60.
82. Gander S, Frascarolo P, Suter M, Spahn DR, Magnusson L. Positive end-expiratory pressure during induction of general anesthesia increases duration of non hypoxic apnea in morbidly obese patients. *Anesth Analg.* 2005; 100(2):580-4.
83. Loeckinger A, Kleinsasser A, Lindner KH, Margreiter J, Keller C, Hoermann C. Continuous positive airway pressure at 10 cm H₂O during cardiopulmonary bypass improves postoperative gas exchange. *Anesth Analg.* 2000; 91(3):522-7.
84. Associação de Medicina Intensiva Brasileira-AMIB, Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia -SBPT. Diretrizes Brasileiras de ventilação mecânica. São Paulo: AMIB/SBPT; 2013.