

# Recrutamento alveolar em pacientes no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca

*Alveolar recruitment in patients in the immediate postoperative period of cardiac surgery*

Cauê PADOVANI<sup>1</sup>, Odete Mauad CAVENAGHI<sup>2</sup>

RBCCV 44205-1254

## Resumo

Complicações pulmonares no pós-operatório de cirurgia cardíaca são frequentes, destacando-se a atelectasia e a hipoxemia. As manobras de recrutamento alveolar contribuem significativamente para a prevenção e o tratamento destas complicações. Desta forma, este estudo buscou agrupar e atualizar os conhecimentos relacionados à utilização das manobras de recrutamento alveolar no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca. Observou-se a eficácia do recrutamento alveolar por meio de diferentes técnicas específicas e a necessidade do desenvolvimento de novas pesquisas.

**Descritores:** Procedimentos Cirúrgicos Cardíacos. Atelectasia Pulmonar. Respiração com Pressão Positiva. Fisioterapia (Especialidade). Cuidados Pós-Operatórios.

## Abstract

Lung complications during postoperative period of cardiac surgery are frequently, highlighting atelectasis and hypoxemia. Alveolar recruitment maneuvers have an important role in the prevention and treatment of these complications. Thus, this study reviewed and updated the alveolar recruitment maneuvers performance in the immediate postoperative period of cardiac surgery. We noted the efficacy of alveolar recruitment through different specific techniques and the need for development of new studies.

**Descriptors:** Cardiac Surgical Procedures. Pulmonary Atelectasis. Positive-Pressure Respiration. Physical Therapy (Specialty). Postoperative Care.

## INTRODUÇÃO

A cirurgia cardíaca é responsável pela redução da sintomatologia, além de otimizar a sobrevida e a qualidade de vida dos pacientes cardiopatas. No entanto, complicações pulmonares são observadas com frequência e representam importante causa de morbidade e mortalidade para pacientes no pós-operatório imediato de intervenção cirúrgica cardíaca [1].

As complicações pulmonares nessa população apresentam fisiopatologia multifatorial. Seu desenvolvimento é resultado da combinação dos efeitos

da anestesia, do trauma cirúrgico e da circulação extracorpórea (CEC) [2]. Atelectasia e hipoxemia são as complicações mais importantes. A incidência de atelectasia em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca com CEC é alta, variando de 60% a 90% [2,3]. O desenvolvimento de atelectasia no pós-operatório de cirurgia cardíaca é aproximadamente seis vezes maior do que o observado após cirurgias abdominais [4].

Nos últimos anos, estudos científicos têm investigado estratégias terapêuticas que possam prevenir ou minimizar as complicações pulmonares após intervenção cirúrgica cardíaca [5,6]. Dentro deste contexto, a fisioterapia

1. Pós-graduação em Fisioterapia Cardiorrespiratória; Fisioterapeuta do Hospital do Servidor Público Estadual.
2. Pós-graduação em Fisioterapia Cardiorrespiratória, Fisioterapeuta do Hospital de Base de São José do Rio Preto.

Trabalho realizado na Faculdade de Medicina de São José do Rio Preto (FAMERP), Pós-graduação em Fisioterapia Cardiorrespiratória, São José do Rio Preto, SP, Brasil.

Endereço para correspondência:  
Cauê Padovani  
Rua 15 de Novembro, 457 – Centro – Itapuí, SP, Brasil.  
Brasil – CEP: 17230-000  
E-mail: cauepadovani@hotmail.com

Artigo recebido em 21 de setembro de 2010  
Artigo aprovado em 9 de novembro de 2010

respiratória tem sido cada vez mais requisitada, já que utiliza técnicas capazes de melhorar a mecânica respiratória, a reexpansão pulmonar e a higiene brônquica. A fisioterapia no período pós-operatório, após a chegada do paciente na unidade de terapia intensiva, contribui muito para a ventilação adequada e o sucesso da extubação [5,7-9].

O atendimento fisioterapêutico ao paciente cardiopata cirúrgico é essencial e engloba diversas estratégias, entre elas a manobra de recrutamento alveolar (MRA), técnica que utiliza o aumento da pressão transpulmonar com o objetivo de recrutar unidades alveolares colapsadas, aumentando a área pulmonar disponível para a troca gasosa e, conseqüentemente, a oxigenação arterial [10,11].

O objetivo deste estudo foi revisar conceitos atuais relacionados à manobra de recrutamento alveolar no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca e identificar as indicações, as técnicas de recrutamento alveolar, possíveis benefícios e efeitos adversos, bem como, os cuidados a serem tomados na aplicação desta manobra no paciente cardiopata cirúrgico.

#### COMPLICAÇÕES PULMONARES APÓS CIRURGIA CARDÍACA

A atelectasia, definida como o colapso alveolar de determinada área do parênquima pulmonar, geralmente das regiões dependentes do pulmão, constitui a complicação mais comum no pós-operatório de cirurgia cardíaca [2,12].

Durante o procedimento cirúrgico, os pacientes cardiopatas são expostos a diversos fatores que contribuem para a formação de atelectasias. Entre eles, citam-se o deslocamento cefálico do diafragma causado pelos anestésicos e bloqueadores neuromusculares, a compressão dos pulmões por estruturas do mediastino, a esternotomia, o manuseio cirúrgico da cavidade pleural, a inatividade dos pulmões durante a CEC e a ventilação mecânica com altas frações inspiradas de oxigênio durante o período intraoperatório [13,14].

Nos pacientes submetidos à intervenção cirúrgica cardíaca com CEC, o aumento do volume de água extravascular pulmonar e a alteração da atividade normal do sistema surfactante, secundários à ativação das cascatas inflamatórias e da coagulação pelo contato do sangue com superfícies não-endotelizadas, contribuem para o aumento do peso do parênquima pulmonar e colapso adicional de unidades alveolares, diminuindo ainda mais a eficiência das trocas gasosas [14,15]. Estas alterações repercutem na relação ventilação-perfusão, acarretando diminuição da capacidade residual funcional, aumento do *shunt* intrapulmonar e desenvolvimento de hipoxemia [10,16].

A presença de regiões pulmonares colapsadas também tem sido associada ao aumento do risco de infecções respiratórias no período pós-operatório [13]. A pneumonia

é uma das infecções nosocomiais mais frequente no pós-operatório de intervenção cirúrgica cardíaca e é considerada a maior causa de morbimortalidade nessa população [17,18].

#### MANOBRAS DE RECRUTAMENTO ALVEOLAR (MRA)

São definidas como procedimentos que têm por finalidade o aumento da pressão transpulmonar, a fim de promover a abertura do maior número possível de alvéolos e com isso melhorar a distribuição do gás alveolar [10,11]. Desse modo, esta abordagem maximiza as trocas gasosas, melhora a oxigenação arterial e minimiza as lesões pulmonares induzidas pela ventilação mecânica, conhecidas como volutrauma, atelectrauma e biotrauma [19].

#### Indicações

A MRA tem indicação bem estabelecida para pacientes com hipoxemia de moderada a grave e também para pacientes que preenchem os critérios diagnósticos para Síndrome da Angústia Respiratória Aguda (SARA). Acredita-se que a utilização dessas estratégias na prática clínica determina importante redução da morbidade e mortalidade [19,20].

A MRA também tem sido utilizada para aumentar a oxigenação após intervenção cirúrgica cardíaca. Os quadros hipoxêmicos desses pacientes ocorrem em razão das frações de *shunt* intrapulmonar causadas por alvéolos colapsados [21,22]. Segundo Neves et al. [19], a MRA é especialmente indicada em situações clínicas que podem causar colapso alveolar, como anestesia, sedação e bloqueio neuromuscular, bem como na desconexão do paciente do ventilador mecânico.

Estudos recentes têm demonstrado que a MRA pode ser indicada e monitorizada por meio de marcadores de oxigenação, sendo os mais utilizados a pressão arterial de oxigênio (PaO<sub>2</sub>), a relação PaO<sub>2</sub>/fração inspirada de oxigênio (FiO<sub>2</sub>), o índice de oxigenação e a saturação periférica de oxigênio (SpO<sub>2</sub>). Estes marcadores, associados à tomografia computadorizada, podem esclarecer, quantificar e avaliar a eficácia do recrutamento pulmonar [19,22].

#### Técnicas de recrutamento alveolar

Diferentes métodos são propostos para a realização do recrutamento alveolar: insuflação sustentada com alto nível de pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP); aumento simultâneo da pressão expiratória final positiva (PEEP) e do volume corrente (VC); aumento progressivo da PEEP com um valor fixo de pressão inspiratória (PI) e elevação simultânea da pressão inspiratória (PI) e da PEEP no modo ventilatório pressão controlada [11,13,22].

De acordo com a literatura, a MRA mais utilizada no pós-operatório de cirurgia cardíaca é a insuflação

sustentada. A técnica consiste na aplicação da CPAP, com níveis de pressão que variam de 30 a 45 cmH<sub>2</sub>O por 30 a 40 segundos [10,14,19]. Apesar de empregadas com menor frequência, técnicas de recrutamento alveolar no modo ventilatório pressão controlada também são observadas em alguns estudos. Os autores utilizam para o recrutamento a elevação gradativa combinada da PI e da PEEP até atingir pico de pressão e PEEP de 40 e 20 cmH<sub>2</sub>O, respectivamente, por até 2-3 minutos; ou o uso da PI fixa em 15 ou 20 cmH<sub>2</sub>O associada ao aumento gradativo da PEEP por até 2 minutos, podendo atingir uma PEEP final de até 35 cmH<sub>2</sub>O, com consequente aumento do pico de pressão até 50 cmH<sub>2</sub>O [16,19,23].

A MRA possui curta duração e pode ser realizada várias vezes ao dia e/ou quando necessário, como na deterioração da oxigenação, desconexão do ventilador mecânico e após aspiração do tubo traqueal [24,25]. Em geral, a MRA deve ser seguida pelo ajuste dos níveis de PEEP, que desempenha papel fundamental na manutenção da eficácia da manobra, impedindo o desrecrutamento e prevenindo o atelectrauma. A PEEP proporciona maior estabilidade alveolar após o recrutamento. A PEEP ideal pode ser determinada pelo ponto de melhor troca gasosa, ou seja, 2 cmH<sub>2</sub>O acima do ponto de inflexão inferior da curva pressão-volume do sistema respiratório, observando-se a estabilidade hemodinâmica [10,20,26].

### Benefícios

Estudos têm demonstrado que estratégias de recrutamento alveolar podem melhorar a função respiratória no pós-operatório de cirurgia cardíaca pela redução da atelectasia e do *shunt* intrapulmonar, melhorando a relação ventilação-perfusão e, conseqüentemente, a oxigenação arterial [11,13,16].

Os benefícios da MRA vão além da reversão de atelectasias. Promovendo melhor distribuição da ventilação para as áreas previamente colapsadas, pode-se reduzir a possibilidade de volutrauma, reduzir a resistência vascular pulmonar associada à hipoxia, melhorando o desempenho do ventrículo direito e diminuindo a necessidade de ventilação mecânica no período pós-operatório [14,27].

Para melhor avaliação dos resultados da MRA, os marcadores de oxigenação (PaO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>, SpO<sub>2</sub>, índice de oxigenação) devem ser determinados ao início do procedimento e na evolução do paciente. Além disso, seria importante que a cada intervenção a efetividade do recrutamento fosse também avaliada por técnicas de imagem, como a tomografia computadorizada de tórax, estudos da mecânica respiratória estática e dinâmica, bem como medida do volume pulmonar [19,22].

Auler Jr. et al. [13] verificaram melhora significativa da oxigenação arterial após a realização da MRA (CPAP 20, 30 e 40 cmH<sub>2</sub>O por 30 segundos) em 40 pacientes hipoxêmicos

no pós-operatório de intervenção cirúrgica cardíaca. Resultados semelhantes foram descritos por Dyhr et al. [10], que utilizaram a técnica de recrutamento alveolar na modalidade CPAP com pressão de via aérea de 45 cmH<sub>2</sub>O durante quatro insuflações de 10 segundos associada à aplicação de 12 cmH<sub>2</sub>O de PEEP após manobra. Esses autores verificaram que, no pós-operatório de cirurgia cardíaca, a MRA combinada com a manutenção da PEEP resulta em aumento do volume pulmonar exalado e melhora da oxigenação.

Claxton et al. [22] estudaram população semelhante, porém com valores de PEEP de 15 cmH<sub>2</sub>O, permitindo pico de pressão inspiratória de 40 cmH<sub>2</sub>O. Houve melhora significativa da oxigenação aferida pela relação PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub> no grupo recrutamento, 30 minutos e uma hora após a manobra, quando comparados com os grupos sem PEEP e com PEEP de 5 cmH<sub>2</sub>O. Não foram observadas alterações importantes nos parâmetros hemodinâmicos durante a aplicação da MRA. Scohy et al. [28] utilizaram a MRA seguida de 8 cmH<sub>2</sub>O de PEEP em 20 crianças no pós-operatório de cirurgia cardíaca. Os autores observaram melhora significativa da oxigenação, da complacência dinâmica e do volume pulmonar expiratório das crianças estudadas.

A Tabela 1 resume os artigos de maior importância, autores, ano de publicação, população estudada, tipo de recrutamento alveolar utilizado e os resultados encontrados.

### Efeitos adversos e contraindicações

Apesar dos benefícios constatados, o recrutamento alveolar no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca tem apresentado resultados ainda controversos. A MRA também pode causar efeitos indesejáveis, como redução do retorno venoso, diminuição do débito cardíaco e hipotensão. A ocorrência de hipotensão, com rápida melhora após a interrupção da manobra, é mais frequente em pacientes hipovolêmicos [11,29-31].

As principais complicações que podem ocorrer durante a MRA são barotrauma e comprometimento hemodinâmico. Dois mecanismos são responsáveis pela instabilidade hemodinâmica, o primeiro por aumento da pressão em vias aéreas, levando à diminuição do retorno venoso e da pré-carga do ventrículo direito, o segundo por elevação da pressão alveolar, podendo aumentar a resistência vascular pulmonar e a pós-carga do ventrículo direito [26,29].

Uma recente revisão sistemática demonstrou que as complicações mais frequentes da MRA foram a hipotensão (12%) e a dessaturação (9%). O barotrauma, apesar de ser uma importante complicação, é de baixa incidência (1%). Estas complicações parecem ter baixo impacto diante da necessidade de melhora da oxigenação em quadros de hipoxemia grave [32].

Tabela 1. Características dos Estudos Revisados

Autores / Ano	População	Modo de Recrutamento	Descrição do Estudo	Resultados
Malbouisson et al. [14] / 2008	PO de cirurgia cardíaca (n = 10)	CPAP	3 x 40 cmH2O por 40 segundos	Melhora da oxigenação (aumento da relação PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> e redução do shunt pulmonar) sem induzir alterações significativas no desempenho hemodinâmico
Auler Jr et al [13] / 2007	PO de cirurgia cardíaca (n = 40)	CPAP	3 x 20, 30 ou 40 cmH2O por 30 segundos	Melhora significativa da oxigenação caracterizada por aumento da relação PaO <sub>2</sub> /FiO <sub>2</sub> , SpO <sub>2</sub> e volume corrente exalado
Tusman et al. [23] / 2004	PO de cirurgia torácica (n = 12)	Combinação PI e PEEP	Aumento gradativo da pressão até atingir PIP de 40 cmH2O e PEEP de 20 cmH2O por 10 ciclos respiratórios	Maior eficiência da ventilação e exalação de CO <sub>2</sub> . Não foram observados efeitos adversos em relação ao desempenho hemodinâmico e/ou ventilatório
Dyhr et al. [21] / 2002	PO de cirurgia cardíaca (n = 16)	CPAP	A: 2 x 45 cmH2O por 20 segundos + PEEP 14 cmH2O pós manobra vs. B: 2 x 45 cmH2O por 20 segundos + ZEEP pós manobra	A PEEP é necessária após o recrutamento alveolar para manter os volumes pulmonares e aumentar a oxigenação
Dyhr et al. [10] / 2004	PO de cirurgia cardíaca (n = 30)	CPAP	A: 4 x 45 cmH2O por 10 segundos + PEEP 12 cmH2O pós manobra vs. B: 4 x 45 cmH2O por 10 segundos + ZEEP pós manobra vs. C: PEEP 12 cmH2O	A PEEP é necessária após o recrutamento alveolar para manter os volumes pulmonares e aumentar a oxigenação
Garutti et al. [16] / 2009	PO de cirurgia torácica (n = 40)	Combinação PI e PEEP	Aumento gradativo da pressão até atingir PIP de 40 cmH2O e PEEP de 20 cmH2O por 10 ciclos respiratórios	Melhora significativa da oxigenação sem induzir alterações hemodinâmicas importantes
Celebi et al. [4] / 2007	PO de cirurgia cardíaca (n = 60)	-CPAP -Combinação PEEP e VC	A: CPAP 40 cmH2O por 30 segundos vs. B: Aumento do VC e da PEEP até 20 cmH2O, permitindo PIP de até 40 cmH2O vs. C: PEEP 5 cmH2O	Diminuição da atelectasia e melhora significativa da oxigenação. Maior estabilidade hemodinâmica no recrutamento com PEEP 20cmH2O comparado ao CPAP
Claxton et al. [22] / 2003	PO de cirurgia cardíaca (n = 78)	Combinação PEEP e VC	A: ZEEP vs. B: PEEP 5 cmH2O vs. C: Aumento do VC e da PEEP até 15 cmH2O, permitindo PIP de até 40 cmH2O	Melhora significativa da oxigenação sem provocar efeitos adversos. A aplicação da PEEP 5 cmH2O de maneira isolada não apresenta efeito significativo sobre a oxigenação

PO: pós-operatório; PEEP: pressão expiratória final positiva; VC: volume corrente; PI: pressão inspiratória; PIP: pico de pressão; ZEEP: PEEP zero; PaO<sub>2</sub>/FiO<sub>2</sub>: pressão arterial de oxigênio/fração inspirada de oxigênio; SpO<sub>2</sub>: saturação periférica de oxigênio; CO<sub>2</sub>: gás carbônico

Entre as principais contraindicações para a realização do recrutamento alveolar, está a presença de instabilidade hemodinâmica, como hipotensão, agitação psicomotora, doença pulmonar obstrutiva crônica, pneumectomia prévia, fístulas broncopleurais, hemoptise, pneumotórax não drenado e hipertensão intracraniana [23,24,33].

#### CONSIDERAÇÕES FINAIS

Complicações pulmonares no pós-operatório de cirurgia cardíaca são observadas com frequência. Destacam-se entre elas a atelectasia e a hipoxemia. A MRA pode ser considerada um importante adjuvante na prática clínica, sendo um método efetivo na correção de atelectasia, na melhora da oxigenação e restauração do volume corrente, facilitando o desmame da ventilação mecânica de pacientes no pós-operatório de cirurgia cardíaca.

Ao lado dos benefícios constatados, a MRA também pode ter efeitos indesejáveis como barotrauma e comprometimento hemodinâmico. Por isso, sua implementação em pacientes no pós-operatório de intervenção cirúrgica cardíaca deve ser realizada apenas sob rigorosa monitorização, controle hemodinâmico e por equipe experiente.

Valores ideais da pressão de via aérea e padronização da técnica de recrutamento alveolar ainda persistem sem um consenso na literatura especializada. Dessa forma, novos estudos são necessários para que se possa avaliar melhor seu impacto e estabelecer diretrizes mais definidas para seu emprego, a fim de assegurar a eficácia da MRA para pacientes no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca.

#### REFERÊNCIAS

1. Borghi-Silva A, Mendes RG, Costa FS, Di Lorenzo VA, Oliveira CR, Luzzi S. The influences of positive end expiratory pressure (PEEP) associated with physiotherapy intervention in phase I cardiac rehabilitation. *Clinics*. 2005;60(6):465-72.
2. 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.
3. Figueiredo LC, Araújo S, Abdala RCS, Abdala A, Guedes CAV. CPAP de 10 cmH<sub>2</sub>O durante a circulação extracorpórea não melhora a troca gasosa pós-operatória. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2008;23(2):209-15.
4. 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.
5. Renault JA, Costa-Val R, Rossetti MB. Fisioterapia respiratória na disfunção pulmonar pós-cirurgia cardíaca. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2008;23(4):562-9.
6. Renault JA, Costa-Val R, Rossetti MB, Houry Neto M. Comparação entre exercícios de respiração profunda e espirometria de incentivo no pós-operatório de cirurgia de revascularização do miocárdio. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2009;24(2):165-72.
7. Leguisamo CP, Kalil RAK, Furlani AP. A efetividade de uma proposta fisioterapêutica pré-operatória para cirurgia de revascularização do miocárdio. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2005;20(2):134-41.
8. Felcar JM, Guitti JCS, Marson AC, Cardoso JR. Fisioterapia pré-operatória na prevenção das complicações pulmonares em cirurgia cardíaca pediátrica. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2008;23(3):383-8.
9. Arcêncio L, Souza MD, Bortolin BS, Fernandes ACM, Rodrigues AJ, Evora PRB. Cuidados pré e pós-operatórios em cirurgia cardiotorácica: uma abordagem fisioterapêutica. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2008;23(3):400-10.
10. Dyhr T, Nygård E, Laursen N, Larsson A. Both lung recruitment maneuver and PEEP are needed to increase oxygenation and lung volume after cardiac surgery. *Acta Anaesthesiol Scand*. 2004;48(2):187-97.
11. Gonçalves LO, Cicarelli DD. Manobra de recrutamento alveolar em anestesia: como, quando e por que utilizá-la. *Rev Bras Anesthesiol*. 2005;55(6):631-8.
12. Kavanagh BP. Perioperative atelectasis. *Minerva Anesthesiol*. 2008;74(6):285-7.
13. 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.
14. 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.
15. 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.
16. 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.
17. Camí MTG, García IJ, Ayala UM. Infección nosocomial em postoperados de cirurgia cardíaca. *An Pediatr (Barc).* 2008;69(1):34-8.
18. Cavenaghi S, Moura SCG, Silva TH, Venturinelli TD, Marino LHC, Lamari NM. Importância da fisioterapia no pré e pós-operatório de cirurgia cardíaca pediátrica. *Rev Bras Cir Cardiovasc.* 2009;24(3):397-400.
19. Neves VC, Koliski A, Giraldo 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.
20. Mols G, Priebe HJ, Guttman J. Alveolar recruitment in acute lung injury. *Br J Anaesth* 2006;96(2):156-66.
21. 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(6):717-25.
22. Claxton BA, Morgan P, McKeague H, Mulpur A, Berridge J. Alveolar recruitment strategy improves arterial oxygenation after cardiopulmonary bypass. *Anaesthesia.* 2003;58(2):111-6.
23. Tusman G, Böhm SH, Sipmann FS, Maisch S. Lung recruitment improves the efficiency of ventilation and gas exchange during one-lung ventilation anesthesia. *Anesth Analg.* 2004;98(6):1604-9.
24. 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.
25. Jauncey-Cooke JI, Bogossian F, East CE. Lung recruitment: a guide for clinicians. *Aust Crit Care.* 2009;22(4):155-62.
26. Gernoth C, Wagner G, Pelosi P, Luecke T. Respiratory and haemodynamic changes during decremental open lung positive end-expiratory pressure titration in patients with acute respiratory distress syndrome. *Crit Care.* 2009;13(2):R59.
27. Serita R, Morisaki H, Takeda J. An individualized recruitment maneuver for mechanically ventilated patients after cardiac surgery. *J Anesth.* 2009;23(1):87-92.
28. Scohy TV, Bikker IG, Hofland J, de Jong PL, Bogers AJ, Gommers D. Alveolar recruitment strategy and PEEP improve oxygenation, dynamic compliance of respiratory system and end-expiratory lung volume in pediatric patients undergoing cardiac surgery for congenital heart disease. *Paediatr Anaesth.* 2009;19(12):1207-12.
29. Marini JJ. How to recruit the injured lung. *Minerva Anesthesiol.* 2003;69(4):193-200.
30. Nielsen J, Nygård E, Kjaergaard J, Tingleff J, Larsson A. Hemodynamic effect of sustained pulmonary hyperinflation in patients after cardiac surgery: open vs. closed chest. *Acta Anaesthesiol Scand.* 2007;51(1):74-81.
31. Nielsen J, Østergaard M, Kjaergaard J, Tingleff J, Berthelsen PG, Nygård E, et al. Lung recruitment maneuver depresses central hemodynamics in patients following cardiac surgery. *Intensive Care Med.* 2005;31(9):1189-94.
32. Fan E, Wilcox ME, Brower RG, Stewart TE, Mehta S, Lapinsky SE, et al. Recruitment maneuvers for acute lung injury: a systematic review. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008;178(11):1156-63.
33. 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.