

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE BIOFÍSICA CARLOS CHAGAS FILHO

MARCELO SAMPAIO DURAN

Implementação de um Protocolo para Ajuste Individualizado
da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes sob Anestesia Geral

Rio de Janeiro

2022

Marcelo Sampaio Duran

Implementação de um Protocolo para Ajuste Individualizado
da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes sob Anestesia Geral

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Formação para a Pesquisa Biomédica do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Formação para a Pesquisa Biomédica.

Orientadora: Luciana Moisés Camilo

Coorientador: Alysson Roncally Silva Carvalho

Rio de Janeiro

2022

CIP - Catalogação na Publicação

D948i DURAN, MARCELO SAMPAIO
Implementação de um protocolo para ajuste individualizado da pressão positiva ao final da expiração em pacientes sob anestesia geral / MARCELO SAMPAIO DURAN. -- Rio de Janeiro, 2022.
78 f.

Orientadora: LUCIANA MOISÉS CAMILO.
Coorientador: ALYSSON RONCALLY SILVA CARVALHO.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Programa de Mestrado Profissional em Formação para a Pesquisa Biomédica, 2022.

1. Ventilação mecânica protetora. 2. pressão positiva ao final da expiração. 3. Anestesia geral. 4. Complicações pulmonares pós-operatórias. 5. Fisiologia. I. CAMILO, LUCIANA MOISÉS, orient. II. CARVALHO, ALYSSON RONCALLY SILVA, coorient. III. Título.

"Implementação de um protocolo para ajuste individualizado da pressão positiva
ao final da expiração em pacientes sob anestesia geral"

MARCELO SAMPAIO DURAN

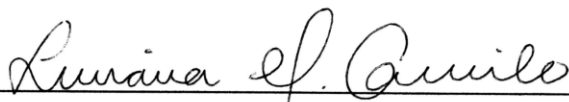
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO PROFISSIONAL DE FORMAÇÃO PARA A PESQUISA BIOMÉDICA
SUBMETIDA À UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO VISANDO A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM FORMAÇÃO PARA A PESQUISA BIOMÉDICA.

APROVADA POR:

Rio de Janeiro, 08 de julho de 2022.



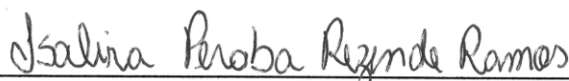
DRA. FLAVIA FONSECA BLOISE (DOUTORA – UFRJ)
(COORDENADORA DO CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL DE FORMAÇÃO PARA PESQUISA BIOMÉDICA)



DRA. LUCIANA MOISÉS CAMILO (DOUTORA – UFRJ) – ORIENTADORA



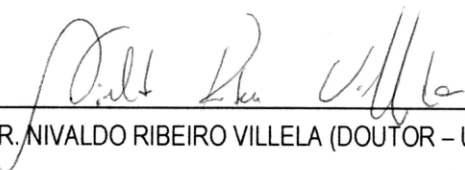
DR. ALYSSON RONCALLY SILVA CARVALHO (DOUTOR – UFRJ) – COORIENTADOR



DRA. ISALIRA PEROBA REZENDE RAMOS (DOUTORA – UFRJ) – REVISORA



DRA. FLAVIA FONSECA BLOISE (DOUTORA – UFRJ)



DR. NIVALDO RIBEIRO VILLELA (DOUTOR – UERJ)



DR. TIAGO BATISTA DA COSTA XAVIER (DOUTOR – IFRJ)

Para as minhas famílias. A em que eu nasci e a que eu construí. Pois, sem elas, nada disso seria possível.

Agradecimentos

A Deus que, silenciosamente, mostra que tudo tem seu tempo e lugar.

Aos meus pais Celio e Angela, exemplos de resiliência, que sempre me falavam como o estudo pode mudar a vida das pessoas. E me ensinaram que de nada adianta o conhecimento se você não o transmite adiante nem o usa com sabedoria para o bem do próximo.

À minha esposa Luciana pelo companheirismo e pela paciência. Você sempre foi meu porto seguro nos momentos de alegria e de tristeza. Sem você, eu nada seria.

À minha filha Maria Eduarda que me transformou numa pessoa melhor que eu nem sabia que era capaz de ser.

À minha orientadora Luciana Camilo que não permitiu que eu desistisse de tudo que eu já tinha realizado por causa dos vários contratemplos encontrados ao longo do mestrado, agravados pela pandemia da Covid-19.

Ao Tiago Xavier, cujo convívio no centro cirúrgico, ajudando-o na sua tese de doutorado, fez renascer a vontade de ingressar no mestrado estudando algo que sempre gostei.

Ao Alysson Carvalho pelas aulas, conversas e orientações no início dessa jornada.

Aos chefes do serviço de anestesiologia, Luis Carlos da Mata e Daniel Queiroz, que flexibilizaram minha escala de cirurgias, o que permitiu acompanhar praticamente todos os procedimentos anestésicos do início ao fim.

Aos staffs do serviço de anestesiologia pela generosidade em aceitar minha presença (nem sempre discreta) na sala operatória e atender a maioria das minhas demandas.

Aos residentes de anestesiologia que me ajudaram na coleta dos dados durante a fase experimental e aguentaram todas as minhas manias (que não foram poucas).

Aos pacientes que nos confiaram suas vidas na busca do tão almejado alívio de seus sofrimentos (do corpo e da alma).

*“Am I a part of the cure?
Or am I a part of the disease?”*

(Clocks, Coldplay)

DURAN, Marcelo Sampaio. Implementação de um Protocolo para Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes sob Anestesia Geral. Rio de Janeiro, 2022. Dissertação (Mestrado profissional em formação para a pesquisa biomédica). Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022.

Introdução: complicações pulmonares pós-operatórias (CPPs) são causas importantes de morbidade e mortalidade no período perioperatório. Alguns estudos mostraram que estratégias de ventilação mecânica protetora podem reduzir a incidência de CPPs. O serviço de anestesiologia do Hospital Federal dos Servidores do Estado (HFSE) não possui uma padronização da ventilação mecânica intraoperatória para os pacientes submetidos à anestesia geral. O objetivo desse estudo é estabelecer a viabilidade de incorporar-se uma estratégia de ventilação pulmonar protetora com ajuste individualizado de pressão positiva ao final da expiração (PEEP) à rotina de cuidados anestésicos. Métodos: pacientes submetidos à anestesia geral para cirurgias abdominais abertas ou laparoscópicas foram divididos aleatoriamente em 2 grupos para receber ventilação protetora convencional ou ventilação protetora com ajuste individualizado da PEEP na máxima complacência do sistema respiratório (Csr). Foram avaliadas características da mecânica do sistema respiratório e a incidência de complicações hemodinâmicas e respiratórias perioperatórias. As dificuldades operacionais mais frequentes relacionadas à aplicação da estratégia de ventilação pulmonar com titulação da PEEP também foram observadas. Resultados: quarenta e oito pacientes completaram o estudo e 24 pacientes foram alocados em cada grupo. Durante as cirurgias abertas, os pacientes ventilados com ajuste individualizado da PEEP apresentaram maior Csr após colocação dos afastadores (59,2 vs. 35,4 mL·cmH₂O⁻¹, $P<0,001$) e fechamento da cavidade abdominal (53,6 vs. 31,0 mL·cmH₂O⁻¹, $P<0,001$). Nas cirurgias laparoscópicas, os pacientes ventilados com ajuste individualizado da PEEP também apresentaram maior Csr após início do pneumoperitônio (34,1 vs. 20,6 mL·cmH₂O⁻¹, $P<0,001$) e fim do pneumoperitônio (52,6 vs. 30,8 mL·cmH₂O⁻¹, $P<0,001$). Os pacientes ventilados com PEEP individualizada apresentaram maior incidência de hipotensão transitória intraoperatória, enquanto os pacientes submetidos à ventilação protetora convencional apresentaram pior oxigenação no período pós-operatório imediato. Conclusão: um protocolo de ventilação pulmonar protetora intraoperatória com ajuste individualizado da PEEP pela máxima Csr melhorou a mecânica respiratória intraoperatória e oxigenação pós-operatória imediata dos pacientes submetidos a cirurgias abdominais, quando comparado a uma estratégia ventilatória convencional. O protocolo utilizado apresentou baixa incidência de efeitos adversos e não causou interferência com outras tarefas anestésicas

intraoperatórias. Com base no protocolo desse estudo, uma rotina de ventilação mecânica intraoperatória pôde ser adotada pelo serviço de anestesiologia do HFSE.

DURAN, Marcelo Sampaio. Implementação de um Protocolo para Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes sob Anestesia Geral. Rio de Janeiro, 2022. Dissertação (Mestrado profissional em formação para a pesquisa biomédica). Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2022.

Background: Postoperative pulmonary complications (PPCs) are important causes of morbidity and mortality in the perioperative period. Some studies have shown that protective mechanical ventilation strategies can reduce the incidence of PPCs. The department of anesthesiology at Hospital Federal dos Servidores do Estado (HFSE) does not have a standard for intraoperative mechanical ventilation for patients undergoing general anesthesia. The aim of this study is to establish the feasibility of incorporating a lung-protective ventilatory strategy with individualized positive end-expiratory pressure (PEEP) setting into routine anesthetic care.

Methods: Patients undergoing general anesthesia for open abdominal or laparoscopic surgeries were randomly assigned into 2 groups to receive either conventional lung-protective ventilation or lung-protective ventilation with individual PEEP adjustment at maximum respiratory system compliance (Cr_s). Respiratory system mechanics and the incidence of perioperative hemodynamic and respiratory complications were evaluated. Most frequent operational difficulties related to the use of the pulmonary ventilation strategy with PEEP titration were also observed.

Results: Forty-eight patients completed the study and 24 patients were allocated to each group. During open surgeries, patients ventilated with individualized PEEP settings had higher Cr_s after placement of retractors (59.2 vs. 35.4 mL·cmH₂O⁻¹, *P*<0.001) and abdominal wall closure (53.6 vs. 31.0 mL·cmH₂O⁻¹, *P*<0.001). In laparoscopic surgeries, patients ventilated with individualized PEEP settings also had higher Cr_s after the onset of pneumoperitoneum (34.1 vs. 20.6 mL·cmH₂O⁻¹, *P*<0.001) and pneumoperitoneum deflation (52.6 vs. 30.8 mL·cmH₂O⁻¹, *P*<0.001). Patients ventilated after PEEP titration had a higher incidence of intraoperative hypotension, while patients undergoing conventional protective ventilation showed worse oxygenation in the immediate postoperative period.

Conclusion: An intraoperative lung-protective ventilation protocol with individualized PEEP setting at maximum Cr_s improved intraoperative respiratory mechanics and immediate postoperative oxygenation in patients undergoing abdominal surgery when compared to a conventional ventilatory strategy. The study protocol had a low incidence of adverse effects and did not interfere with other intraoperative anesthetic tasks. Based on this study protocol, an intraoperative lung-protective ventilation strategy could be implemented by the department of anesthesiology at HFSE.

Lista de Figuras

Figura 1. Atelectasias pulmonares avaliadas por tomografia computadorizada de tórax.	20
Figura 2. Interdependência alveolar mecânica e stress/strain.....	24
Figura 3. Evolução temporal do volume corrente empregado na ventilação mecânica intraoperatória.....	25
Figura 4. Exemplo de titulação decremental da PEEP através da tomografia por impedância elétrica.	27
Figura 5. Padrões de manobras de recrutamento comumente utilizadas nos estudos.	28
Figura 6. Esquema de titulação da PEEP pela Csr máxima (C_{max}).	34
Figura 7. Fluxo de pacientes no estudo.	38
Figura 8. Ajustes da PEEP no grupo MCrs de acordo com o tipo de cirurgia.	42
Figura 9. Valores da DP nos grupos ZEEP e MCrs de acordo com o tipo de cirurgia.....	43
Figura 10. Valores da Csr nos grupos ZEEP e MCrs de acordo com o tipo de cirurgia.	44
Figura 11. Valores da SpO ₂ inicial e final nos grupos ZEEP e MCrs de acordo com o tipo de cirurgia.....	46
Figura 12. Processo de reprogramação do aparelho de anestesia GE Datex-Ohmeda Aisys CS ²	56
Figura 13. Recrutamento pulmonar e titulação decremental da PEEP automáticos com o ciclo #1.	57
Figura 14. Exemplo de painel de controle do módulo LPV do Sistema CareStation™ Insight Analytics.....	58

Lista de Quadros

Quadro 1. Parâmetros basais da ventilação intraoperatória.....	32
Quadro 2. Estratégia ventilatória do grupo ZEEP	33
Quadro 3. Estratégia ventilatória do grupo MCsr.....	35

Lista de Tabelas

Tabela 1. Dados antropométricos, características clínicas, cirúrgicas e anestésicas dos pacientes.	39
Tabela 2. Parâmetros ventilatórios e valores da mecânica do sistema respiratório.....	41
Tabela 3. Outros desfechos.....	45

Lista de Abreviaturas e Siglas

ASA	Sociedade Americana de Anestesiologistas (do inglês <i>American Society of Anesthesiologists</i>)
bpm	batimentos por minuto
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CPP	complicação pulmonar pós-operatória
CRF	capacidade residual funcional
Csr	complacência estática do sistema respiratório
DP	pressão motriz estática (do inglês, <i>Driving Pressure</i>)
Esr	elastância do sistema respiratório
ETCO ₂	pressão parcial de gás carbônico nos gases expirados
EUA	Estados Unidos da América
FiO ₂	fração inspirada de oxigênio
FR	frequência respiratória
IBCCF	Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho
I:E	relação entre os tempos inspiratório e expiratório em um ciclo ventilatório
IMC	índice de massa corporal
irpm	incursões respiratórias por minuto
MET	equivalente metabólico da tarefa (do inglês, <i>Metabolic Equivalent of Task</i>)
PCV	ventilação controlada à pressão (do inglês, <i>Pressure-Controlled Ventilation</i>)
PEEP	pressão positiva ao final da expiração (do inglês, <i>Positive End-Expiratory Pressure</i>)
POP	Procedimento operacional padrão
Pplat	pressão de platô (ou pressão quasi-estática)
SDRA	síndrome do desconforto respiratório agudo
SpO ₂	saturação periférica de oxigênio (medida por oximetria de pulso)
T _p :T _i	tempo da pausa inspiratória em relação ao tempo inspiratório total
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UTI	unidade de terapia intensiva
VCV	ventilação controlada a volume (do inglês, <i>Volume-Controlled Ventilation</i>)
VC	volume corrente
VILI	lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica (do inglês, <i>Ventilator-Induced Lung Injury</i>)
ZEEP	pressão zero ao final da expiração (do inglês, <i>Zero End-Expiratory Pressure</i>)

Sumário

1	Introdução	15
2	Objetivos.....	18
2.1	Objetivos específicos	18
3	Revisão bibliográfica	19
3.1	Efeitos da anestesia geral sobre o aparelho respiratório	19
3.2	Complicações pulmonares pós-operatórias.....	21
3.2.1	Escores de risco para complicações pulmonares pós-operatórias.....	22
3.3	Lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica.....	23
3.4	Ventilação mecânica protetora.....	24
3.4.1	<i>Driving pressure</i>	29
4	Materiais e métodos	31
4.1	Cálculo amostral	31
4.2	Pacientes	31
4.3	Manejo anestésico	32
4.4	Protocolo experimental	33
4.5	Desfechos.....	36
4.6	Análise estatística	37
5	Resultados.....	38
5.1	Mecânica respiratória.....	40
5.1.1	Ventilação basal	40
5.1.2	Ajuste intermediário da PEEP	41
5.1.3	Ajuste final da PEEP.....	42
5.1.4	Análise <i>post-hoc</i>	44
5.2	Outros desfechos.....	45
6	Discussão	47
6.1	Protocolo de ventilação mecânica do HFSE.....	53
6.2	Perspectivas futuras	57
7	Conclusões.....	59
	Referências	60
	Anexo A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa do HFSE (última página).....	66
	Apêndice A – Termo de consentimento livre e esclarecido	67

Apêndice B – Parâmetros de ventilação mecânica dos aparelhos GE Datex-Ohmeda Aisys CS ²	69
Apêndice C – POP para ventilação protetora intraoperatória.....	70
Apêndice D – Protocolo de ventilação protetora intraoperatória	78

1 Introdução

Estima-se que milhões de cirurgias são realizadas todos os anos no mundo (WEISER, REGENBOGEN, *et al.*, 2008). Complicações pós-operatórias estão associadas com maior uso de recursos e são uma causa importante de morte. Em particular, nas cirurgias abdominais, a incidência de complicações pulmonares pós-operatórias (CPPs) pode chegar a 40% (LAWRENCE, DHANDA, *et al.*, 1996, THOMPSON, 2003).

A anestesia geral associada à ventilação pulmonar com pressão positiva é empregada na grande maioria das cirurgias abdominais. As repercussões da anestesia geral sobre o funcionamento do sistema respiratório são pronunciadas e podem ser observadas já nos momentos iniciais da anestesia (HEDENSTIERNA, EDMARK, 2015). Por exemplo, a redução da capacidade residual funcional e o surgimento de atelectasias estão presentes em mais de 90% dos pacientes submetidos à anestesia geral (HEDENSTIERNA, EDMARK, 2010, MAGNUSSON, SPAHN, 2003).

Os avanços no conhecimento da fisiopatologia da lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica (VILI, do inglês, *Ventilator-Induced Lung Injury*), levaram ao desenvolvimento da estratégia de ventilação pulmonar protetora em pacientes com síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) (ACUTE RESPIRATORY DISTRESS SYNDROME NETWORK, BROWER, *et al.*, 2000, AMATO, BARBAS, *et al.*, 1998). Tal estratégia procura evitar tanto a hiperdistensão quanto o colapso e recrutamento cíclico das unidades alveolares através do uso de volume corrente (VC) fisiológico e pressões de platô inferiores a 30 cmH₂O, associados à aplicação cautelosa de pressão positiva ao final da expiração (PEEP, do inglês, *Positive End-Expiratory Pressure*).

O conceito de ventilação protetora também é aplicado aos pacientes submetidos à ventilação mecânica durante as cirurgias. Alguns estudos mostraram que a ventilação protetora intraoperatória com VC baixo reduziu a incidência de CPPs (FUTIER, CONSTANTIN, *et al.*, 2013, SERPA NETO, CARDOSO, *et al.*, 2012, SERPA NETO, HEMMES, *et al.*, 2015, SEVERGNINI, SELMO, *et al.*, 2013).

O papel da PEEP na prevenção de CPPs, contudo, ainda é incerto. Recentemente, um estudo prospectivo, randomizado, multicêntrico, com pacientes submetidos a cirurgias abdominais reportou que os pacientes submetidos a uma estratégia de ventilação protetora intraoperatória com VC baixo e titulação da PEEP apresentaram uma menor chance de desenvolver CPPs em comparação com os pacientes que receberam uma estratégia de ventilação com VC baixo e PEEP fixo (FERRANDO, SORO, *et al.*, 2018).

Existem muitas estratégias de titulação da PEEP na SDRA (GATTINONI, CARLESSO, *et al.*, 2015, HESS, 2015). Durante as cirurgias, o emprego de muitas dessas estratégias torna-se mais difícil. A titulação da PEEP guiada pela complacência do sistema respiratório (Csr) máxima já foi aplicada no período intraoperatório com sucesso (FERRANDO, SORO, *et al.*, 2018, RUSZKAI, KISS, *et al.*, 2021). Atualmente, um estudo prospectivo, randomizado, multicêntrico com pacientes submetidos à cirurgia abdominal aberta está em andamento e avaliará se uma titulação de PEEP na menor pressão motriz estática (DP, do inglês *Driving Pressure*) intraoperatória diminui a incidência de CPPs (DESIGNATION-INVESTIGATORS, 2020).

O Hospital Federal dos Servidores do Estado (HFSE) é um hospital terciário na cidade do Rio de Janeiro onde são realizadas, em média, mais de 100 cirurgias por semana em diversas especialidades cirúrgicas. Dessas, aproximadamente 40 cirurgias têm acesso à cavidade abdominal. Apesar do grande número de cirurgias com anestesia geral, não existe um protocolo para ventilação mecânica intraoperatória recomendado pelo serviço de anestesiologia. E o que se observa é uma grande heterogeneidade de ajustes ventilatórios, alguns deles empregados mais por hábito e cultura locais que por critérios objetivos. Ainda que um $VC \leq 8 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso predito seja utilizado na maioria dos pacientes, o ajuste de PEEP não segue nenhum critério definido.

Este trabalho propõe o estudo da viabilidade da implementação de um protocolo de ventilação protetora intraoperatória com ajuste individualizado da PEEP, através da titulação decremental guiada pela máxima Csr, a ser adotado pelo serviço de anestesiologia do HFSE. O protocolo proposto será comparado com um protocolo convencional de ventilação aplicado frequentemente pelo corpo clínico em relação a variáveis de mecânica do sistema respiratório, incidência de complicações intraoperatórias e interferência no cuidado e nos tempos anestésico e cirúrgico de cirurgias abdominais.

A hipótese é que o recrutamento pulmonar seguido de ajuste individualizado da PEEP pode ser inserido à rotina de cuidados anestésicos de forma segura, sem causar prejuízo às outras tarefas que o anestesiológico precisa desempenhar durante a condução da anestesia geral. A adoção de um protocolo de ventilação pulmonar protetora adequado às características fisiológicas de cada paciente pode atender melhor a requisitos de eficiência e segurança e tornar-se uma das ferramentas de uma abordagem multimodal para redução das CPPs dos pacientes submetidos à cirurgia abdominal.

A partir dos resultados desse trabalho, a adoção de um protocolo de ventilação mecânica protetora tem o potencial de melhorar a qualidade do atendimento perioperatório dos pacientes submetidos a cirurgias sob anestesia geral e abrir caminho para que novos estudos possam ser realizados a fim de esclarecer o impacto do manejo da ventilação mecânica intraoperatória sobre o desfecho dos pacientes submetidos a outros tipos de cirurgias.

Frente à possibilidade de redução da morbidade relacionada às CPPs, a implantação desse protocolo de ventilação protetora também pode auxiliar na gestão dos sistemas de saúde ao reduzir custos associados ao tratamento de complicações e otimizar a gerência de recursos escassos como vagas em leito de unidades de terapia intensiva.

2 Objetivos

Este estudo teve por objetivo estabelecer a viabilidade de incorporar-se uma nova estratégia de ventilação pulmonar protetora à rotina de procedimentos executados durante a abordagem anestésica dos pacientes atendidos pelo serviço de anestesiologia do HFSE.

2.1 Objetivos específicos

- a) Comparar prospectivamente as características da mecânica do sistema respiratório e das alterações hemodinâmicas decorrentes da aplicação de duas estratégias de ventilação pulmonar intraoperatória em pacientes submetidos a cirurgias abdominais: (i) estratégia protetora convencional com VC baixo, e (ii) estratégia protetora com VC baixo e manobra de titulação decremental da PEEP com ajuste da PEEP na Csr máxima;
- b) Identificar as complicações e dificuldades operacionais mais frequentes relacionadas ao emprego da estratégia de ventilação pulmonar com titulação da PEEP como parte integrante dos cuidados ventilatórios intraoperatórios que possam interferir na viabilidade de sua aplicação rotineira;
- c) Elaborar um procedimento operacional padrão (POP) que ampare um novo protocolo para ventilação mecânica intraoperatória a ser adotado como parte dos cuidados anestésicos dispensados aos pacientes submetidos a cirurgias sob anestesia geral no HFSE.

3 Revisão bibliográfica

“*Gentlemen, this is no humbug!*” (em tradução livre do inglês: “Cavalheiros, isso não é uma farsa!”), foi a expressão utilizada pelo cirurgião John Collins Warren depois de testemunhar a demonstração feita por William Thomas Green Morton, em 16 de outubro de 1846, na cidade de Boston, daquilo que se tornaria uma das maiores aquisições da humanidade e da medicina – a anestesia geral (EGER II, SAIDMAN, *et al.*, 2014).

Rapidamente, os cirurgiões constataram que a anestesia lhes permitia realizar procedimentos cirúrgicos mais complexos, invasivos e precisos. Nas décadas seguintes, as especialidades cirúrgicas se desenvolveram à medida que a anestesiologia incorporava novos conhecimentos, fármacos e tecnologias. Atualmente, estima-se que mais de 230 milhões de procedimentos cirúrgicos são realizados em todo o mundo todos os anos (WEISER, REGENBOGEN, *et al.*, 2008).

3.1 Efeitos da anestesia geral sobre o aparelho respiratório

Os efeitos da anestesia geral sobre o sistema respiratório são pronunciados e ocorrem precocemente. A ação combinada dos fármacos hipnóticos, opioides, e inalatórios causa redução do tônus muscular, abolição dos reflexos protetores das vias aéreas, e depressão da resposta dos centros ventilatórios no sistema nervoso a variações do CO₂ e do O₂ (KAVANAGH, HEDENSTIERNA, 2014). A resultante desses efeitos torna os pacientes susceptíveis à obstrução das vias aéreas, aspiração de conteúdo gástrico, hipoxemia e hipercarbia, o que justifica o emprego da ventilação mecânica com intubação traqueal na vasta maioria das cirurgias sob anestesia geral.

Os bloqueadores neuromusculares interrompem a transmissão neuromuscular dos músculos esqueléticos (MARTYN, 2014). Ainda que resulte em relaxamento muscular intenso, atributo interessante em vários tipos de cirurgia, seu uso inevitavelmente causará apneia no paciente e a necessidade de assistência ventilatória.

A redução do tônus muscular e o deslocamento cranial do diafragma parecem ser os principais responsáveis pela redução da capacidade residual funcional (CRF) dos pulmões, ao estabelecer um novo equilíbrio de forças entre o recuo elástico do pulmão e a tendência à expansão da parede torácica (HEDENSTIERNA, EDMARK, 2010, MAGNUSSON, SPAHN, 2003). A nova conformação do diafragma também parece influenciar a distribuição dos gases inspirados. Durante a ventilação mecânica com um diafragma flácido e passivo, as regiões anteriores (não-dependentes) dos pulmões recebem uma parcela maior dos gases inspirados que

as regiões posteriores (dependentes), gerando um desequilíbrio entre ventilação e perfusão pulmonares (HEDENSTIERNA, EDMARK, 2015).

A queda na CRF durante a anestesia favorece o fechamento das pequenas vias aéreas, quando a pressão fora das vias aéreas, no parênquima pulmonar circunjacente, é mais alta que a pressão dentro das vias aéreas. O fechamento das vias aéreas ocorre predominantemente nas partes dependentes dos pulmões em decorrência do gradiente de pressão pleural que existe entre as regiões pulmonares ventrais e dorsais (com o paciente em decúbito dorsal). O fechamento das vias aéreas afeta a distribuição dos gases inspirados e causa um desequilíbrio na relação ventilação/perfusão das regiões pulmonares acometidas. Regiões pulmonares com vias aéreas continuamente fechadas acabam dando origem às atelectasias de absorção (HEDENSTIERNA, EDMARK, 2010, MAGNUSSON, SPAHN, 2003).

Bendixen *et al.* (1963) propuseram o conceito da atelectasia como fator responsável pelo comprometimento das trocas gasosas durante a anestesia geral com ventilação controlada. Considerando as limitações da maneira como a ventilação mecânica intraoperatória era realizada à época (sem controle direto do volume corrente), a formação de atelectasias foi atribuída à perda da inspiração profunda (suspiro) causada pela ventilação mecânica com volume corrente constante. Naqueles pacientes em que houve hiperventilação causada por volumes correntes maiores, o comprometimento da oxigenação foi minimizado.

As atelectasias estão presentes em mais de 90% dos pacientes submetidos à anestesia geral (figura 1). O surgimento das atelectasias é multifatorial. A redução da CRF favorece a formação de atelectasias por compressão do parênquima pulmonar, de atelectasias de absorção por colapso das pequenas vias aéreas, e de atelectasias por instabilidade alveolar causada por disfunção de surfactante (HEDENSTIERNA, EDMARK, 2010, MAGNUSSON, SPAHN, 2003).

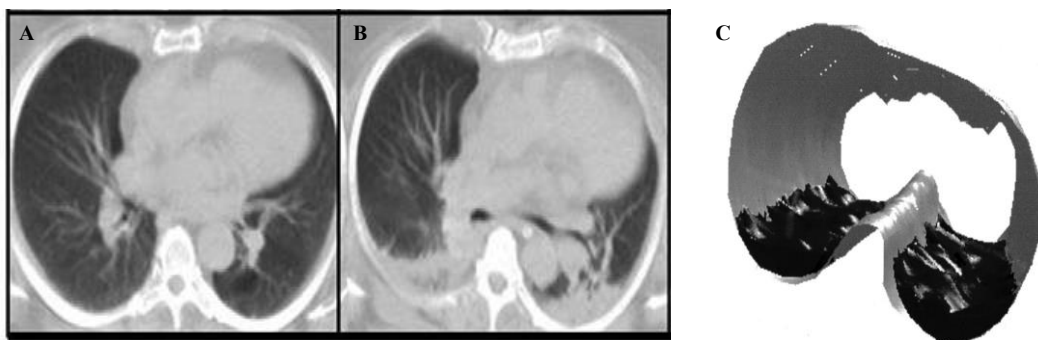


Figura 1. Atelectasias pulmonares avaliadas por tomografia computadorizada de tórax. A. Indivíduo acordado, sem evidências de atelectasias. B. Paciente anestesiado com atelectasias nas regiões dependentes de ambos os pulmões. C. Reconstrução tridimensional das atelectasias em indivíduo anestesiado (parede torácica em cinza e as atelectasias em preto). As atelectasias têm distribuição bastante desigual nas regiões dependentes, sendo maiores à esquerda (próximo ao diafragma) e diminuindo em direção aos ápices. Adaptado de HEDENSTIERNA, ROTHEN, (2012).

Muitos dos mecanismos relacionados ao surgimento das atelectasias podem ser potencializados durante as cirurgias abdominais, como a aplicação de afastadores para acesso à cavidade abdominal, posicionamentos extremos do paciente na mesa cirúrgica (posição de cefalodeclive acentuado nas cirurgias robóticas, por exemplo), ou o uso de altas frações inspiradas de oxigênio.

Nas últimas décadas, as técnicas cirúrgicas videolaparoscópicas tornaram-se amplamente empregadas e trouxeram novos desafios ao manejo ventilatório intraoperatório. As alterações respiratórias impostas pela instalação do pneumoperitônio se sobrepõem àquelas já causadas pela anestesia geral, acentuam a redução da CRF e reforçam o surgimento das atelectasias (FAHY, BARNAS, *et al.*, 1995, LORING, BEHAZIN, *et al.*, 2014, VALENZA, CHEVALLARD, *et al.*, 2010).

3.2 Complicações pulmonares pós-operatórias

A incidência de CPPs em cirurgias de grande porte pode chegar a 23% e alguns estudos apontam que as CPPs podem ser mais frequentes que as complicações cardíacas (MISKOVIC, LUMB, 2017). Nas cirurgias abdominais, a incidência de CPPs pode chegar a 40% (LAWRENCE, DHANDA, *et al.*, 1996, THOMPSON, 2003).

A heterogeneidade de definições dos desfechos é responsável, em parte, pela grande variação na incidência reportada de CPPs. Alguns desfechos têm definições bem estabelecidas, como a SDRA (RANIERI, RUBENFELD, *et al.*, 2012), enquanto outros, contudo, tiveram definições menos precisas ao longo dos estudos.

A ocorrência de CPPs está associada a maior mortalidade no período pós-operatório, maior tempo de internação, maior demanda por recursos e maior custo de tratamento (MISKOVIC, LUMB, 2017).

As complicações pulmonares devem manter relação com eventos anestésicos ou cirúrgicos para que sejam consideradas como pós-operatórias. Para isso, deve-se estabelecer um prazo bem definido para sua ocorrência. Normalmente, um evento só é visto como CPP se ocorre até 7 dias após uma cirurgia, embora alguns estudos estendam esse prazo para 30 dias (ARZULLAH, KHURI, *et al.*, 2001, CANET, GALLART, *et al.*, 2010, JAMMER, WICKBOLDT, *et al.*, 2015).

Em 2015, uma força-tarefa europeia publicou uma diretriz sobre desfechos clínicos pós-operatórios na tentativa de unificar essas definições e permitir a criação de uma base de evidências mais robusta a partir de ensaios clínicos com desfechos mais padronizados

(JAMMER, WICKBOLDT, *et al.*, 2015). Em relação às CPPs, essa diretriz incorporou as definições utilizadas em estudos relevantes anteriores (CANET, GALLART, *et al.*, 2010, MAZO, SABATÉ, *et al.*, 2014).

3.2.1 Escores de risco para complicações pulmonares pós-operatórias

Dezenas de fatores de risco foram identificados como preditores de CPPs que podem ser agrupados em fatores relacionados ao paciente ou ao procedimento anestésico-cirúrgico, ou ainda em fatores modificáveis ou imutáveis (GALLART, CANET, 2015, MISKOVIC, LUMB, 2017).

Gallart *et al.* (2015) concordam com a abordagem de outros autores que se deve direcionar a atenção para identificar preditores de risco que possam ser reconhecidos no período pré-operatório, quando os pacientes e equipes assistentes têm tempo e recursos para se dedicar à atenuação do risco, atuando naqueles preditores que podem ser modificados antes da cirurgia.

Os fatores de risco de CPPs devem ser ponderados para que sejam úteis na tomada de decisão no período perioperatório. Nessa direção, escores de risco foram desenvolvidos para identificar aqueles pacientes com alta probabilidade de desenvolver CPPs. Preferencialmente, os escores devem ter uma descrição clara do processo de modelagem, possuir boa acurácia, e ser capazes de prever os desfechos numa nova população de pacientes (validação externa). Escores de risco multifatoriais talvez possam identificar o risco de CPPs com maior acurácia. Contudo, sua aplicação de forma consistente como parte da avaliação pré-operatória multidisciplinar pode tornar-se mais difícil.

Arozullah *et al.* (2001) propuseram um dos primeiros escores de risco de CPPs a partir da análise retrospectiva de uma grande base de dados de pacientes submetidos à cirurgia não-cardíaca. O escore leva em consideração 14 preditores de risco e já apontava para a importância do sítio cirúrgico e da idade do paciente como fatores de risco para pneumonia pós-operatória. Entretanto, o escore não foi validado posteriormente em outras populações e a base de dados utilizada na modelagem do escore tinha uma preponderância de pacientes do sexo masculino.

O ARISCAT foi um estudo prospectivo e multicêntrico que utilizou uma amostra aleatória de uma população representativa de pacientes cirúrgicos (CANET, GALLART, *et al.*, 2010). Neste estudo, a gama de CPPs foi bem maior que a estudada por Arozullah *et al.* (2001). Em sua modelagem, o escore identificou 7 preditores de risco, de obtenção simples, sendo que 3 deles ainda não haviam sido utilizados em estudos anteriores (saturação de oxigênio, anemia pré-operatória e ocorrência de infecção respiratória recente). O escore de risco estratificou os pacientes em 3 grupos e obteve uma alta incidência de CPPs no grupo de pacientes de alto risco.

O sítio cirúrgico, a duração da cirurgia e a saturação de oxigênio foram identificados como importantes preditores de risco de CPPs. Ainda que o tamanho da amostra utilizada para concepção do modelo tenha sido pequeno, o escore foi validado externamente em outra coorte com número maior de pacientes com boa discriminação do risco de CPPs na nova população (MAZO, SABATÉ, *et al.*, 2014).

3.3 Lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica

A lesão pulmonar induzida pelo ventilador (VILI, do inglês, *Ventilator-Induced Lung Injury*) é a lesão pulmonar aguda, infligida ou agravada pela ventilação mecânica com pressão positiva empregada durante o tratamento de condições relacionadas à insuficiência respiratória aguda ou no decorrer da anestesia geral.

Na década de 1970, a VILI foi intimamente relacionada à aplicação de pressões elevadas nas vias aéreas dos pacientes (barotrauma). Posteriormente, Dreyfuss *et al.* (1988) propuseram que o uso de VC alto, e não a pressão nas vias aéreas, era o principal fator responsável pelo dano mecânico à estrutura pulmonar (volutrauma).

Atualmente, os efeitos da ventilação mecânica sobre o parênquima pulmonar têm sido estudados com os conceitos de *stress* e *strain* (GATTINONI, PROTTI, *et al.*, 2010). As forças que se desenvolvem na estrutura pulmonar em resposta à pressão transpulmonar são coletivamente definidas como *stress*. O *strain* pode ser considerado como a deformação do pulmão atribuível ao VC, em relação ao seu volume inicial em repouso. O *strain rate* pode ser definido com a velocidade de deformação do pulmão causada pelo VC, em relação ao volume pulmonar inicial. Dentro de limites fisiológicos, *stress* e *strain* apresentam uma relação praticamente linear (equações 1 e 2).

$$\textit{stress} = K \times \textit{strain} \Rightarrow \Delta P_{tp} = K \times \frac{VC}{V_0} \quad (1)$$

$$\textit{strain rate} = \frac{\dot{V}}{V_0} \quad (2)$$

onde P_{tp} = pressão transpulmonar, K = elastância específica pulmonar (aproximadamente 13,5 cmH₂O), VC = volume corrente, \dot{V} = fluxo inspiratório e V_0 = volume expiratório final ou CRF.

Dessa forma, “como barotrauma (*stress*) e volutrauma (*strain*) carregam a mesma relação constante, representando dois lados da mesma moeda, a distinção entre volutrauma e barotrauma deixa de ser relevante” (GATTINONI, PROTTI, *et al.*, 2010).

Em pulmões homogêneos, VC considerados fisiológicos seriam incapazes de gerar *stress/strain* suficientes para desencadear respostas biológicas que resultem em VILI. Entretanto, regiões aeradas de parênquima pulmonar próximas a áreas de atelectasias teriam sua estrutura tridimensional distorcida e sujeita a uma distribuição anormal de forças (figura 2). A magnitude dessas forças seria muitas vezes maior que a das forças aplicadas à via aérea (MEAD, TAKISHIMA, *et al.*, 1970). Tais regiões de heterogeneidade pulmonar funcionariam, então, como áreas multiplicadoras (amplificadoras ou concentradoras) de *stress* que, associadas a abertura e fechamento cíclicos de unidades alveolares colabadas, resultariam na transmissão atípica de forças mecânicas em estruturas celulares e na matriz pulmonar, traduzindo estímulos mecânicos em sinais bioquímicos e celulares responsáveis pelo desencadeamento da VILI (SILVA, NEGRINI, *et al.*, 2015, SLUTSKY, RANIERI, 2013).

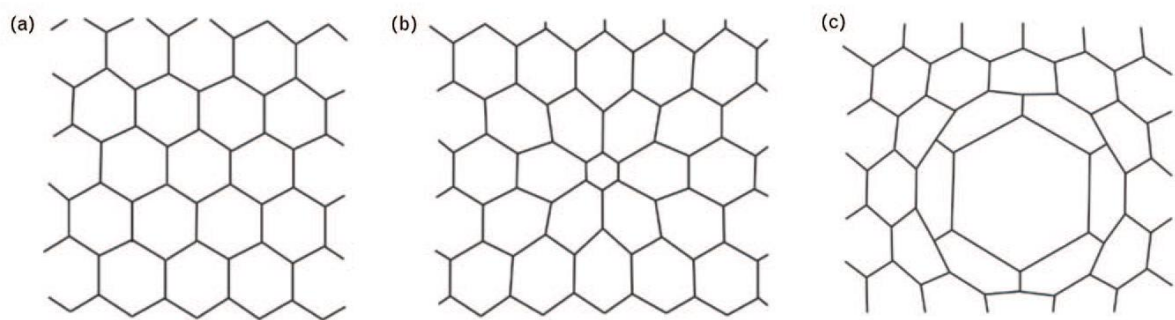


Figura 2. Interdependência alveolar mecânica e *stress/strain*.

Modelo clássico de interdependência alveolar em que cada hexágono representa um alvéolo em seção transversal. A. O enchimento alveolar homogêneo minimiza o *strain* adjacente. B e C. Atelectasia do alvéolo central amplifica o *stress/strain* dos alvéolos vizinhos. Adaptado de BEITLER (2019).

3.4 Ventilação mecânica protetora

Os avanços no conhecimento da fisiopatologia da VILI, juntamente com os resultados dos estudos de Amato *et al.* (1998) e ARDS Network *et al.* (2000), levaram ao desenvolvimento da estratégia de ventilação pulmonar protetora em pacientes com SDRA. Tal estratégia procura evitar tanto a hiperdistensão quanto o colapso e recrutamento cíclicos das unidades alveolares através do uso de VC fisiológico = $6 \text{ mL} \cdot \text{kg}^{-1}$ de peso predito e pressões de platô (Pplat) inferiores a 30 cmH₂O, associados à aplicação cautelosa de PEEP.

Diferente dos pacientes criticamente enfermos, durante a anestesia geral, a ventilação mecânica é necessária apenas por um curto período (e.g. poucas horas). Além disso, os insultos aos quais os pacientes do centro cirúrgico estão sujeitos são, muitas vezes, diferentes em magnitude e natureza, daqueles dos pacientes das unidades de terapia intensiva (UTIs). Apesar disso, ainda não há evidências que os pacientes submetidos à anestesia geral necessitem de estratégias específicas de ventilação pulmonar protetora diferentes das estabelecidas para SDRA.

Muitos dos ventiladores mecânicos disponíveis nos aparelhos de anestesia existentes nas décadas de 1980 a 2000 apresentavam uma série de limitações tecnológicas. Não havia controle preciso do VC ofertado aos pacientes e a maioria dos aparelhos não permitia a aplicação de PEEP. O uso de VC em torno de $10 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ durante a anestesia geral era a estratégia convencional empregada à época para recrutar as unidades alveolares colapsadas e minimizar as alterações na oxigenação.

Com a incorporação de novos recursos tecnológicos aos aparelhos de anestesia, aliada aos resultados obtidos nas UTIs, o conceito de ventilação protetora com VC baixo começou a ser progressivamente incorporado à rotina do centro cirúrgico (figura 3) (HESS, KONDILI, *et al.*, 2013, SCHAEFER, SERPA NETO, *et al.*, 2019). Alguns estudos mostraram que a ventilação protetora intraoperatória com VC baixo reduziu a incidência de CPPs (FUTIER, CONSTANTIN, *et al.*, 2013, SERPA NETO, CARDOSO, *et al.*, 2012, SERPA NETO, HEMMES, *et al.*, 2015, SEVERGNINI, SELMO, *et al.*, 2013).

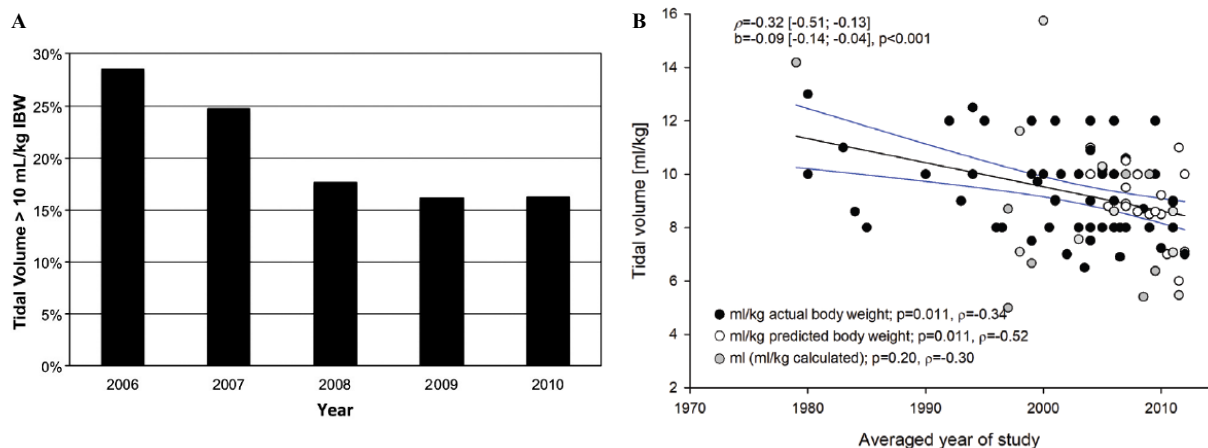


Figura 3. Evolução temporal do volume corrente empregado na ventilação mecânica intraoperatória.

A. Proporção de pacientes que foram ventilados com VC $> 10 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ (peso ideal) no hospital do estudo (adaptado de HESS, KONDILI, *et al.*, 2013). B. Evolução do VC intraoperatório ao longo do tempo. Cada ponto representa 1 estudo (coorte). A linha preta representa a regressão linear do VC ao longo do tempo com intervalo de confiança 95% em azul. VC: volume corrente. Adaptado de SCHAEFER, SERPA NETO, *et al.* (2019).

O papel da PEEP na prevenção de CPPs, contudo, ainda é incerto. Os efeitos da PEEP são complexos e não dependem exclusivamente do valor ajustado, mas de como a PEEP interage com os sistemas respiratório e cardiovascular. Em um grande estudo retrospectivo, a ventilação intraoperatória usando VC baixo ($\leq 8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$) e PEEP mínima ($\leq 5 \text{ cmH}_2\text{O}$) foi associada a maior mortalidade em 30 dias e tempo de internação hospitalar mais prolongado, sugerindo que estratégias de ventilação usando apenas VC baixo podem ser prejudiciais (LEVIN, MCCORMICK, *et al.*, 2014). Este resultado contrasta com os resultados de um trabalho multicêntrico randomizado que incluiu mais de 900 pacientes com risco moderado ou elevado de CPPs submetidos à cirurgia abdominal aberta e ventilação mecânica com 2 níveis de PEEP: ≤ 2 vs. $12 \text{ cmH}_2\text{O}$ (PROVE NETWORK INVESTIGATORS FOR THE CLINICAL TRIAL NETWORK OF THE EUROPEAN SOCIETY OF ANAESTHESIOLOGY, HEMMES, *et al.*, 2014). O estudo mostrou que não houve diferença nas incidências de CPPs entre os grupos, embora os pacientes ventilados com valores de PEEP maiores tenham apresentado maior incidência de hipotensão intraoperatória.

Nos estudos que mostraram menor incidência de CPPs, o manejo da PEEP foi parte de um “pacote” de intervenções que também incluía manobras de recrutamento regulares e o uso de VC baixo. Assim, não ficou claro qual intervenção levou ao benefício observado (FUTIER, CONSTANTIN, *et al.*, 2013, SERPA NETO, CARDOSO, *et al.*, 2012, SERPA NETO, HEMMES, *et al.*, 2015, SEVERGNINI, SELMO, *et al.*, 2013). Outra característica comum a esses estudos é que os valores de PEEP ajustados nos grupos de intervenção foram definidos *a priori* pelos investigadores, sem nenhuma forma de individualização com base em características do paciente ou da cirurgia.

Muitas estratégias de ajuste da PEEP já foram propostas no contexto da SDRA (GATTINONI, CARLESSO, *et al.*, 2015, HESS, 2015). Em todas elas, o ajuste da PEEP é feito na tentativa de otimização de alguma grandeza de interesse fisiológico (p.ex. oxigenação, espaço morto, mecânica respiratória, pressão transpulmonar, CRF). Como essas estratégias de ajuste da PEEP exploram diferentes componentes do sistema respiratório, os resultados delas nem sempre são semelhantes ou se traduzem em melhora dos desfechos clínicos dos pacientes.

Algumas estratégias de ajuste da PEEP estudadas na SDRA não têm fácil aplicação durante a ventilação mecânica intraoperatória. A tomografia por impedância elétrica, por exemplo, utilizada como método de ajuste da PEEP em alguns estudos (figura 4), exige o posicionamento de uma cinta que pode entrar em conflito com o sítio cirúrgico e está longe de ser uma metodologia amplamente disponível no bloco cirúrgico (NESTLER, SIMON, *et al.*,

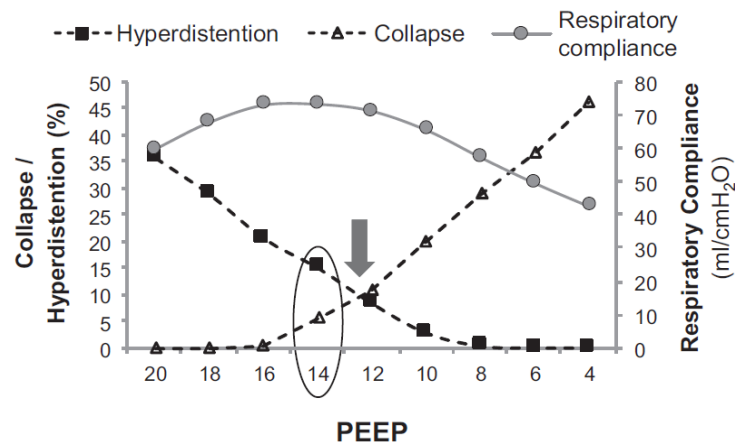


Figura 4. Exemplo de titulação decremental da PEEP através da tomografia por impedância elétrica. Relação entre áreas de colapso e hiperdistensão pulmonares e complacência do sistema respiratório com seleção da PEEP mais próxima acima do cruzamento das curvas representando hiperdistensão e colapso, indicando um comprometimento mecânico no qual tanto o colapso pulmonar quanto a hiperdistensão foram minimizados. Adaptado de PEREIRA, TUCCI, et al. (2018).

2017, PEREIRA, TUCCI, *et al.*, 2018, SIMON, GIRRBACH, *et al.*, 2021). Para que uma estratégia de titulação de PEEP possa ser implementada facilmente no período intraoperatório, é importante que os parâmetros utilizados para titulação ou estejam incorporados aos monitores dos aparelhos de anestesia, ou que os equipamentos/monitores acessórios estejam amplamente disponíveis nos centros cirúrgicos.

Um estudo prospectivo, randomizado, multicêntrico, com pacientes submetidos a cirurgias abdominais reportou que os pacientes submetidos a uma estratégia de ventilação protetora intraoperatória com VC baixo e titulação da PEEP guiada pela Csr máxima apresentaram uma menor chance de desenvolver CPPs em comparação com os pacientes que receberam uma estratégia de ventilação com VC baixo e PEEP fixo (FERRANDO, SORO, *et al.*, 2018). A incidência de CPPs também foi avaliada em outro estudo prospectivo, randomizado, onde a titulação da PEEP também foi guiada pela Csr máxima em 30 pacientes submetidos à cistectomia radical. Os pacientes que foram ventilados com PEEP titulada pela Csr máxima apresentaram parâmetros de oxigenação e de mecânica respiratória melhores que os pacientes que foram ventilados com PEEP fixa. Entretanto, não houve diferença estatisticamente significativa na incidência de CPPs e na cinética de marcadores inflamatórios (RUSZKAI, KISS, *et al.*, 2021).

A PEEP obtida pela titulação decremental guiada pela Crs máxima (ou qualquer outro método), entretanto, não deve ser vista como PEEP ótima ou ideal, uma vez que é extremamente improvável que os fenômenos de recrutamento, colapso e hiperdistensão alveolares cíclicos sejam impedidos por completo (GATTINONI, CARLESSO, *et al.*, 2015). De fato, os

resultados de estudos em modelos animais de pulmões saudáveis (SOARES, CARVALHO, *et al.*, 2018) e com lesão pulmonar (CARVALHO, JANDRE, *et al.*, 2007) sugerem que a PEEP de Csr máxima é aquela onde existe o melhor compromisso entre recrutamento-colapso e hiperdistensão cíclicos.

Em muitos estudos, manobras de recrutamento alveolar foram realizadas antes do ajuste dos valores de PEEP (FERRANDO, SORO, *et al.*, 2018, FERRANDO, SUAREZ-SIPMANN, *et al.*, 2017, FUTIER, CONSTANTIN, *et al.*, 2013, PEREIRA, TUCCI, *et al.*, 2018, PROVE NETWORK INVESTIGATORS FOR THE CLINICAL TRIAL NETWORK OF THE EUROPEAN SOCIETY OF ANAESTHESIOLOGY, HEMMES, *et al.*, 2014, SEVERGNINI, SELMO, *et al.*, 2013, YOON, KIM, *et al.*, 2021). As manobras de recrutamento geralmente podem ser divididas de acordo com 3 padrões: i) manutenção de pressão positiva contínua na via aérea do paciente; ii) aumento escalonado do VC; ou iii) aumento escalonado da PEEP (figura 5). Entre os estudos, as manobras de recrutamento exibiram grande variabilidade em duração e frequência. Não existe consenso a respeito da superioridade de uma estratégia de recrutamento pulmonar em relação às demais durante a anestesia geral. Entretanto,

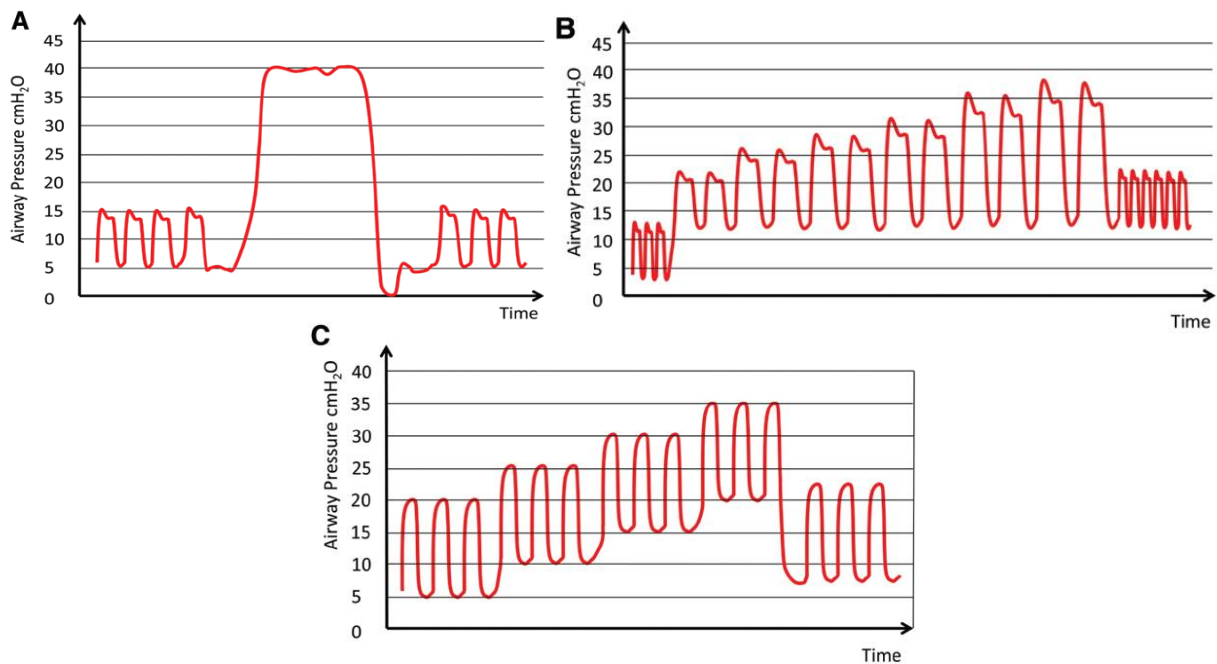


Figura 5. Padrões de manobras de recrutamento comumente utilizadas nos estudos.

A. Compressão da bolsa ventilatória do aparelho de anestesia, utilizando a válvula APL como limitadora da pressão máxima nas vias aéreas. Após a manobra, há despressurização momentânea das vias aéreas antes que a ventilação mecânica seja retomada. B. Aumento gradual do volume corrente durante ventilação controlada a volume. O volume corrente é aumentado em etapas até que a pressão de abertura alvo seja alcançada, com o retorno do volume corrente para os valores iniciais fisiológicos. C. Aumento gradual da PEEP durante ventilação controlada à pressão. A PEEP é aumentada em etapas até que a pressão alvo seja atingida, com retorno ao valor de PEEP desejada. PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração. Adaptado de GÜLDNER, KISS, *et al.* (2015).

um estudo em modelo murino com lesão pulmonar aguda induzida por sepse mostrou que manobras de recrutamento alveolar com aumento escalonado da PEEP resultaram em menor dano pulmonar, avaliado por marcadores humorais e histológicos de dano da célula endotelial, em comparação a manobras de recrutamento pulmonar por pressão positiva contínua na via aérea (SANTOS, MORAES, *et al.*, 2016).

3.4.1 *Driving pressure*

A pressão motriz estática (DP, do inglês, *Driving Pressure*) é a diferença entre a P_{plat} e a PEEP. Matematicamente, a DP representa o VC corrigido pela C_{sr} do paciente (equação 3). Em pacientes ventilados com VC constante, variações da DP refletem variações da C_{sr} de forma inversamente proporcional.

$$DP = \frac{VC}{C_{sr}} \quad (3)$$

Alguns estudos relataram uma associação de DP elevada (> 15 cmH₂O) a um pior desfecho dos pacientes com SDRA (AMATO, MEADE, *et al.*, 2015, ESTENSSORO, DUBIN, *et al.*, 2002). Tais resultados motivaram a realização de uma metanálise de 17 estudos randomizados controlados sobre ventilação protetora durante anestesia geral para procedimentos cirúrgicos, cujo principal desfecho avaliado foi o desenvolvimento de CPPs (NETO, HEMMES, *et al.*, 2016). Os resultados dessa metanálise sugerem que a DP está associada de forma independente ao desenvolvimento de CPPs e que a incidência de CPPs não foi afetada pelos valores de PEEP. Entretanto, os pacientes que apresentaram aumento da DP em resposta a um aumento da PEEP apresentaram um risco maior de desenvolver CPPs quando comparado aos pacientes em que a DP permaneceu estável ou diminuiu após um aumento da PEEP. Teoricamente, o recrutamento de unidades alveolares pelo uso de níveis de PEEP mais elevados levaria a uma diminuição da DP, uma vez que o aumento da fração de tecido pulmonar efetivamente ventilado resultaria no aumento da C_{sr} e redução do *strain* pulmonar. Por outro lado, se a DP permanece inalterada ou aumenta, isso pode significar que o aumento do nível de PEEP não resulta em recrutamento alveolar ou que o tecido pulmonar já apresenta hiperdistensão com aumento do *stress* pulmonar, respectivamente.

Em 2019, foi iniciado um estudo prospectivo, randomizado, multicêntrico, com pacientes submetidos à cirurgia abdominal aberta que avaliará se uma titulação de PEEP na menor DP intraoperatória diminui a incidência de CPPs, em comparação com uma PEEP padrão

de 5 cmH₂O (DESIGNATION–INVESTIGATORS, 2020). Os resultados desse estudo ajudarão a ampliar os conhecimentos sobre o papel dos ajustes individualizados da PEEP intraoperatória na ocorrência de complicações pós-operatórias.

4 Materiais e métodos

4.1 Cálculo amostral

Para estimar o número de pacientes participantes, considerou-se uma diferença nos valores de PEEP de 3 cmH₂O entre os grupos, um desvio-padrão de 2,5 cmH₂O, teste bicaudal, um poder = 0,8 para detectar uma diferença significativa na PEEP, e um erro alfa = 0,05. Estimou-se um tamanho de amostra com 11 pacientes por grupo. Considerando uma perda potencial de 10% dos pacientes recrutados, projetou-se inscrever um total de 12 pacientes em cada grupo do estudo.

4.2 Pacientes

O protocolo do estudo experimental foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do HFSE (protocolo CEP 000.585 – anexo A).

Após obter consentimento livre e esclarecido (apêndice A), foram incluídos prospectivamente pacientes com mais de 18 anos de idade, de ambos os sexos, agendados para cirurgia eletiva com acesso à cavidade abdominal (por via aberta ou videolaparoscópica), com duração prevista maior que 1 hora, realizada sob anestesia geral e ventilação mecânica controlada com pressão positiva.

Foram excluídos do estudo os pacientes que apresentaram: (i) gravidez confirmada ou suspeita; (ii) obesidade classes II ou III, ou IMC acima de 35 kg·m⁻²; (iii) doença pulmonar significativa, definida como qualquer condição respiratória, diagnosticada ou tratada, que limita severamente a tolerância a exercícios com menos que 4 METs¹ ou necessitou de cirurgia pulmonar; (iv) doença cardíaca significativa, definida como qualquer condição cardíaca que limite a tolerância a exercícios com menos que 4 METs; (v) insuficiência renal, definida como necessidade de diálise peritoneal ou hemodiálise ou creatinina sérica maior que 2 mg·dL⁻¹ em exames pré-operatórios; (vi) doença neuromuscular que prejudique a capacidade de ventilar espontaneamente sem auxílio; (vii) doença hepática crônica grave (score de Child-Pugh de 10-15); (viii) sepse; (ix) malignidade ou outra condição irreversível para a qual a mortalidade em 6 meses seja estimada acima de 50%. Os pacientes também podiam ser excluídos do estudo por

¹ MET ou Equivalente Metabólico da Tarefa (do inglês *Metabolic Equivalent of Task*), é uma medida fisiológica que expressa o custo energético de uma atividade física realizada por um indivíduo, em relação ao seu custo energético quando em repouso. Por convenção, 1 MET equivale a 3,5 mL O₂·kg⁻¹·min⁻¹ ou 1 kcal·kg⁻¹·h⁻¹. Atividades físicas capazes de desencadear 4 METs incluem, por exemplo, tarefas domésticas leves, caminhada plana a 4 km·h⁻¹ ou subir um lance de escadas.

solicitação das equipes médicas responsáveis, a qualquer momento, caso julgassem necessário para condução segura dos procedimentos cirúrgico ou anestésico.

4.3 Manejo anestésico

Todas as decisões sobre o manejo anestésico perioperatório, incluindo a escolha dos agentes anestésicos, dispositivos de monitorização dos sinais vitais, reposição de perdas volêmicas com administração de fluidos intravenosos, uso de antibióticos profiláticos e gerenciamento da dor pós-operatória, foram tomadas pelo anestesiológico responsável pelo caso, com base na experiência pessoal e na rotina vigente no serviço de anestesiologia do HFSE.

Após obtenção de acesso vascular, os pacientes eram submetidos à indução de anestesia geral balanceada², ventilação manual sob máscara facial e intubação traqueal. Durante o procedimento anestésico, os pacientes foram monitorizados com eletrocardiograma, pressão arterial não-invasiva (ou invasiva nos casos selecionados), oximetria de pulso, frações inspiradas e expiradas de agentes anestésicos inalatórios, fração inspirada de O₂, capnografia e medida da fração expirada de CO₂ (ETCO₂, do inglês *end-tidal CO₂*), e transmissão neuromuscular. Todos os dados relacionados à monitorização dos sinais vitais e da mecânica do sistema respiratório (volume corrente, pressão e fluxos nas vias aéreas) foram obtidas no próprio aparelho de anestesia (Aisys, GE Healthcare, Madison, WI, EUA).

Ventilação controlada a volume (VCV) com onda de fluxo quadrada
 VC = 7 mL·kg⁻¹, com ajuste tolerado entre 6-8 mL·kg⁻¹ (peso predito)
 I:E = 1:2 e ajustada à fisiologia do paciente, se necessário
 T_p:T_i = 20-30%
 FR = 12 irpm, titulada para manter ETCO₂ = 30-40 mmHg
 FiO₂ ≥ 0,4 para manter SpO₂ ≥ 92%
 PEEP = 0 mmHg

Quadro 1. Parâmetros basais da ventilação intraoperatória

VC: volume corrente; I:E: relação entre os tempos inspiratório e expiratório; T_p:T_i: tempo da pausa inspiratória em relação ao tempo inspiratório total; FR: frequência respiratória; irpm: incursões respiratórias por minuto; ETCO₂: pressão parcial de gás carbônico nos gases expirados; FiO₂: fração inspirada de oxigênio; SpO₂: saturação de oxigênio; PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração.

² A técnica de anestesia geral balanceada consiste no uso simultâneo de fármacos hipnóticos, opioides e bloqueadores musculares por via intravenosa e de um anestésico inalatório. Os fármacos mais frequentemente utilizados no HFSE são propofol, fentanil, rocurônio, cisatracúrio e sevoflurano. A anestesia geral balanceada ainda pode ser associada à administração de fármacos nos espaços epidural ou subaracnoide para complementar a analgesia pós-operatória (técnica combinada).

Um laptop foi conectado às interfaces seriais específicas do aparelho de anestesia para aquisição e armazenamento *online* dos sinais do aparelho de anestesia através do aplicativo *Biomedical Data Logger* (Alessandro Beda e Gabriel Casulari da Motta Ribeiro, COPPE, UFRJ) para auditoria dos dados offline, se necessário.

4.4 Protocolo experimental

Após confirmação da ventilação pulmonar bilateral e estabilização dos sinais vitais, os pacientes foram colocados em ventilação controlada com pressão positiva, modo controlado à volume, com onda de fluxo quadrada (quadro 1).

Os pacientes foram divididos por randomização simples em 2 grupos. Os pacientes do grupo ZEEP (estratégia convencional) foram ventilados com os parâmetros ventilatórios basais durante todo o procedimento anestésico. Em caso de redução da SpO₂ para valores inferiores a 92%, foram permitidos ajustes progressivos da FiO₂ ou da PEEP em uma sequência pré-definida, em intervalos de 3 minutos, até que a SpO₂ atingisse valores maiores ou iguais a 92%. Uma única manobra de recrutamento pulmonar pôde ser realizada, através do aumento progressivo do VC a cada 3 ciclos ventilatórios, desde que a Pplat fosse inferior a 35 cmH₂O (quadro 2).

Ventilação controlada a volume (VCV) com onda de fluxo quadrada

VC = 7 mL·kg⁻¹, com ajuste tolerado entre 6-8 mL·kg⁻¹ (peso predito)

I:E = 1:2 e ajustada à fisiologia do paciente, se necessário

T_p:T_i = 20-30%

FR = 12 irpm, titulada para manter ETCO₂ = 30-40 mmHg

FiO₂ ≥ 0,4 para manter SpO₂ ≥ 92%

PEEP = 0 mmHg

Se SpO₂ < 92%, realize ajustes progressivos de FiO₂/PEEP na sequência:

0,5/2; 0,6/2; 0,6/4; 0,6/5; 0,7/5; 0,8/5; 0,8/6

Ausência de manobras de recrutamento sistemáticas

Considere uma única manobra de recrutamento por aumento de VC passo a passo se SpO₂ < 92%

Quadro 2. Estratégia ventilatória do grupo ZEEP

VC: volume corrente; I:E: relação entre os tempos inspiratório e expiratório; T_p:T_i: tempo da pausa inspiratória em relação ao tempo inspiratório total; FR: frequência respiratória; irpm: incursões respiratórias por minuto; ETCO₂: pressão parcial de gás carbônico nos gases expirados; FiO₂: fração inspirada de oxigênio; SpO₂: saturação de oxigênio; PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração.

Os pacientes do grupo MCsr (complacência máxima) também foram ventilados com os parâmetros ventilatórios basais, mas a PEEP foi ajustada na máxima Csr ao longo de uma curva descendente de titulação da PEEP. Todo o processo de ajuste da PEEP na máxima Csr era realizado em 4 etapas: (i) uma manobra de recrutamento pulmonar através do aumento gradual da PEEP para homogeneizar a expansão pulmonar; (ii) a titulação decremental da PEEP em etapas de 3 cmH₂O, até que a Csr máxima fosse identificada por uma redução da Csr com uma PEEP mais baixa após uma Csr maior com uma PEEP maior; (iii) uma nova manobra de recrutamento pulmonar através do aumento da PEEP em etapa única; (iv) e a ventilação intraoperatória subsequente com a PEEP correspondente à Csr máxima obtida durante a manobra de titulação decremental. Um exemplo de titulação da PEEP na máxima Csr está esquematizado na figura 6. Todo o processo para ajuste da PEEP na máxima Csr encontra-se detalhado no quadro 3.

As manobras de recrutamento pulmonar e de titulação decremental da PEEP seriam interrompidas se o paciente apresentasse bradicardia ou taquicardia intensas (< 50 ou > 140 bpm), desenvolvesse uma nova arritmia, apresentasse hipotensão (pressão arterial sistólica < 80 mmHg ou queda > 30% na pressão arterial sistólica em relação à basal) ou hipoxemia (SpO₂ < 85%) refratárias ao tratamento com vasopressores. A incidência de

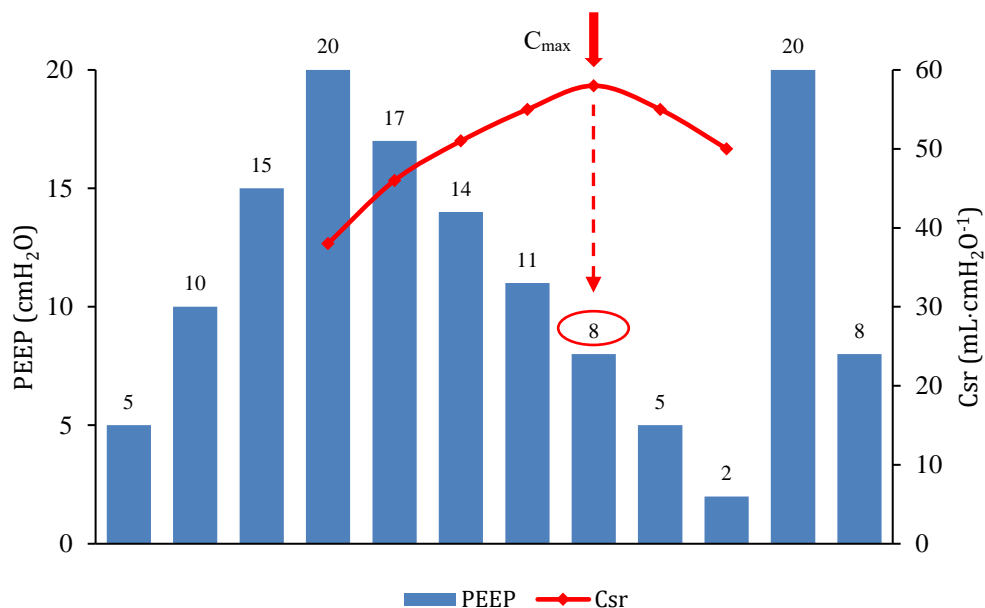


Figura 6. Esquema de titulação da PEEP pela Csr máxima (C_{max}).

Após recrutamento pulmonar com aumento progressivo da PEEP de 5 a 20 cmH₂O, a Csr foi calculada para cada novo valor de PEEP durante a etapa de titulação decrescente. No exemplo, a Csr máxima foi obtida quando o valor da PEEP foi 8 cmH₂O. Na sequência, realizou-se novo recrutamento pulmonar pelo aumento da PEEP (para o valor mais alto obtido no recrutamento inicial) e ajustou-se a PEEP em 8 cmH₂O, valor em que se obteve a Csr máxima. Csr: complacência estática do sistema respiratório; PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração.

mudança de parâmetros fora do protocolo ventilatório para assegurar $SpO_2 > 92\%$, $P_{plat} < 30 \text{ cmH}_2\text{O}$, ou a critério do anestesiolegista principal foram anotadas.

Ajustes ventilatórios basais	Ventilação controlada a volume (VCV) com onda de fluxo quadrada $VC = 7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ com ajuste tolerado entre $6-8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ (peso predito) $I:E = 1:2$ e ajustada à fisiologia do paciente, se necessário $T_p:T_i = 20-30\%$ $FR = 12 \text{ irpm}$, titulada para manter $ETCO_2 = 30-40 \text{ mm Hg}$ $FiO_2 \geq 0,4$ para manter $SpO_2 \geq 92\%$
Quando realizar a titulação	1. Após a intubação traqueal e estabilização dos sinais vitais; 2. Após qualquer intervenção potencialmente associada à mudança significativa da mecânica respiratória (p.ex. colocação de afastadores cirúrgicos, início/fim do pneumoperitônio, desconexão do tubo traqueal, aspiração traqueal, mudanças de decúbito etc.); 3. Se a complacência estática pulmonar for reduzida em $\geq 20\%$; 4. De 1/1 hora a contar da última titulação.
Atenção durante os procedimentos	1. Certifique-se que o paciente se encontra passivo (i.e. sem atividade ventilatória espontânea) e volemia e hemodinâmica estejam adequadas; 2. Interromper a manobra caso o paciente apresente bradicardia ou taquicardia (< 50 ou $> 140 \text{ bpm}$), desenvolva uma nova arritmia, apresente hipotensão (pressão arterial sistólica $< 80 \text{ mm Hg}$ ou queda $> 30\%$ na pressão arterial sistólica em relação à basal) ou hipoxemia ($SpO_2 < 85\%$) refratárias.
Manobra de recrutamento inicial	1. Começando com a última PEEP ajustada, aumente a PEEP em etapas de $5 \text{ cmH}_2\text{O}$ até $P_{plat} = 30-35 \text{ cmH}_2\text{O}$ (p.ex. $PEEP = 5, 10, 15$ e $20 \text{ cmH}_2\text{O}$). Permaneça pelo menos 30 s em cada etapa. Se houver preocupação quanto à instabilidade cardiopulmonar na última etapa, esta pode ser reduzida para $2-3 \text{ cm H}_2\text{O}$, almejando a faixa alvo de $P_{plat} = 30-35 \text{ cmH}_2\text{O}$; 2. Corrija alterações hemodinâmicas, caso elas ocorram, antes de avançar para uma etapa de PEEP mais alta, e reduza a PEEP, se necessário, para priorizar o manejo hemodinâmico antes de continuar; 3. Esta manobra de recrutamento poderá ser realizada antes da tentativa de ventilação espontânea que precede a extubação;
Titulação decremental da PEEP	Reduzir progressivamente a PEEP em $3 \text{ cmH}_2\text{O}$ em etapas de $45-75 \text{ s}$ até que uma queda da Csr seja observada. A PEEP de máxima Csr é a PEEP da etapa anterior.
Manobra de recrutamento final	Ajustar a PEEP no maior valor de PEEP atingido durante a manobra de recrutamento inicial, durante 30 s .
Ajuste da PEEP na máxima Csr	Continuar a ventilação intraoperatória na PEEP de máxima Csr obtida na manobra de titulação decremental.

Quadro 3. Estratégia ventilatória do grupo MCsr

VC: volume corrente; I:E: relação entre os tempos inspiratório e expiratório; $T_p:T_i$: tempo da pausa inspiratória em relação ao tempo inspiratório total; FR: frequência respiratória; irpm: incursões respiratórias por minuto; $ETCO_2$: pressão parcial de gás carbônico nos gases expirados; FiO_2 : fração inspirada de oxigênio; SpO_2 : saturação de oxigênio; PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração; Csr: complacência estática do sistema respiratório.

4.5 Desfechos

As seguintes medidas foram utilizadas para comparar os métodos ventilatórios nos 2 grupos de pacientes (ZEEP vs. MCsr):

- a) Variabilidade entre indivíduos do valor da PEEP individualmente titulada;
- b) Valores de PEEP, Csr e DP após ajuste da PEEP em 3 momentos distintos: (i) logo após a intubação traqueal (basal); (ii) após colocação de afastadores cavitários nas cirurgias abertas ou após a insuflação de pneumoperitônio nas cirurgias videolaparoscópicas (intermediária); (iii) após retirada dos afastadores e fechamento da cavidade abdominal nas cirurgias abertas ou após interrupção do pneumoperitônio nas cirurgias videolaparoscópicas, o que coincidia com o período que se antecipava a remoção do tubo traqueal do paciente (final);
- c) Tempo para definir a PEEP no intraoperatório;
- d) Nível de dificuldade e interferência dos métodos de ajuste da PEEP com o cuidado do paciente em uma escala de 0 a 2, onde 0 - interferência mínima, 2 - interferência acentuada, que acarretou prejuízo no cuidado do paciente;
- e) Número de complicações intraoperatórias atribuíveis às estratégias ventilatórias (hipoxemia, broncoespasmo, pneumotórax, hipotensão, necessidade de medicamentos vasoativos, bradicardia ou taquicardia);
- f) Número de complicações respiratórias pós-operatórias imediatas (período compreendido entre o final da anestesia - remoção do tubo traqueal - e a alta do paciente da sala operatória): (i) insuficiência respiratória, definida como $PaO_2 < 60$ mmHg ou $SpO_2 < 90\%$ em ar ambiente; ou $PaO_2/FiO_2 < 300$ mmHg ou $SpO_2 < 90\%$ apesar de oxigênio suplementar (na ausência de hipoventilação); ou necessidade de ventilação não-invasiva ou ventilação mecânica invasiva; (ii) hipoxemia, definida como $SpO_2 \leq 92\%$ ou redução maior ou igual a 3 pontos percentuais em relação a SpO_2 inicial em ar ambiente; (iii) pneumotórax; (iv) broncoespasmo;
- g) SpO_2 no momento da alta do paciente da sala operatória;
- h) Volume total de fluidos intravenosos administrados.

As cirurgias abertas e videolaparoscópicas possuem características distintas. Assim, para a análise dos dados, os pacientes dos grupos ZEEP e MCsr foram subdivididos segundo o tipo de cirurgia com o propósito de identificar possíveis diferenças nos desfechos.

Em ambos os grupos do estudo, a estratificação do risco de CPPs pelo escore ARISCAT (CANET, GALLART, *et al.*, 2010), o tempo em que o paciente permaneceu em ventilação mecânica, a duração da cirurgia foram registrados e contabilizados como covariáveis na análise final.

4.6 Análise estatística

A normalidade da distribuição dos dados das variáveis contínuas foi testada através do teste de Shapiro-Wilk. Variáveis numéricas contínuas foram expressas como média e desvio-padrão para dados com distribuição normal, e mediana e intervalo interquartil para as demais. Para os dados categóricos, proporções foram relatadas.

As diferenças entre os grupos ZEEP e MCsr foram avaliadas segundo o tipo de cirurgia (aberta vs. videolaparoscópica). Para comparações entre variáveis independentes foram utilizados o teste t e ANOVA. Comparações entre variáveis dependentes foram realizadas com o teste t-pareado ou o teste de Wilcoxon pareado. Variáveis categóricas foram comparadas com o teste exato de Fisher. A análise estatística foi realizada com o pacote estatístico IBM® SPSS® Statistics versão 25 (IBM®, USA). Resultados com $P < 0,05$ foram considerados significativos. Os gráficos foram construídos com pacote de *software* RStudio 2022.02.3 *Build* 492.

5 Resultados

De fevereiro de 2017 a agosto de 2019, foram incluídos 51 pacientes no estudo, com 25 pacientes alocados ao grupo ZEEP e 26 pacientes alocados ao grupo MCsr. Um paciente do grupo ZEEP foi excluído do estudo depois que a cirurgia videolaparoscópica foi convertida para aberta. Dois pacientes do grupo MCsr foram excluídos do estudo. Um paciente apresentou complicação cirúrgica catastrófica com instabilidade hemodinâmica e aumento da carga de trabalho da equipe de anestesiologia que solicitou a interrupção do protocolo do estudo. No outro paciente, houve desconexão inadvertida do circuito ventilatório enquanto era submetido à cirurgia videolaparoscópica (figura 7).

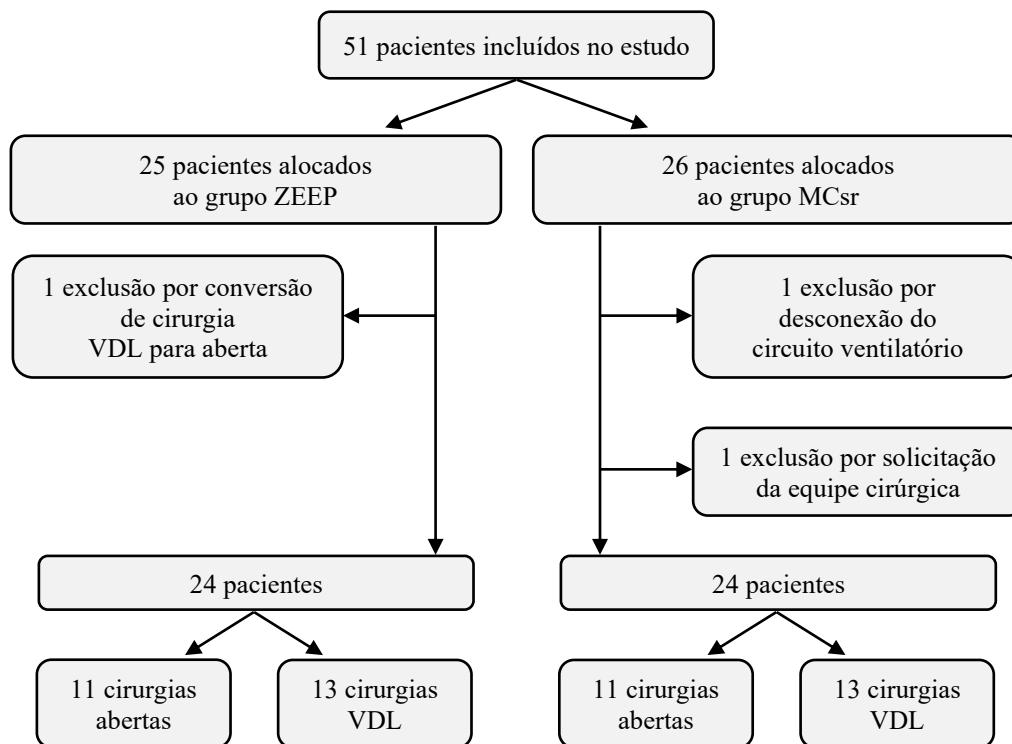


Figura 7. Fluxo de pacientes no estudo.

ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; VDL: cirurgias videolaparoscópicas.

As características antropométricas, clínicas e cirúrgicas dos pacientes estão resumidas na tabela 1. Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos quanto a idade, sexo, peso, altura, IMC, estado físico ASA e especialidades cirúrgicas.

Nos pacientes submetidos a cirurgias abertas, houve um número maior de pacientes com escore ARISCAT alto no grupo ZEEP comparado ao grupo MCsr. Isso provavelmente foi decorrente de variações sazonais no perfil dos pacientes submetidos a cirurgias abdominais no HFSE. O escore ARISCAT foi semelhante entre os pacientes submetidos a cirurgias

videolaparoscópicas. Entretanto, esse grupo apresentou um número maior de pacientes com escore ARISCAT baixo em comparação aos pacientes submetidos a cirurgias abertas. Tal fato é reflexo das características da maioria das cirurgias videolaparoscópicas (cirurgias de curta duração com incisões consideradas periféricas).

Tabela 1. Dados antropométricos, características clínicas, cirúrgicas e anestésicas dos pacientes

	Cirurgias abertas		Cirurgias videolaparoscópicas	
	ZEEP (11)	MCsr (11)	ZEEP (13)	MCsr (13)
Idade (anos)	60,7 (16,3)	62,4 (14,9)	55,5 (13,4)	51,2 (17,1)
Sexo:				
Masculino	7 (63,6%)	7 (63,6%)	1 (7,7%)	1 (7,7%)
Feminino	4 (36,4%)	4 (36,4%)	12 (92,3%)	12 (92,3%)
Peso (kg)	62,9 (11,0)	64,6 (11,9)	71,1 (9,1)	66,7 (8,0)
Altura (m)	1,63 (0,09)	1,62 (0,08)	1,62 (0,07)	1,60 (0,05)
IMC (kg·m ⁻²)	23,4 (3,1)	24,6 (4,5)	27,3 (3,6)	25,8 (3,9)
Estado físico ASA:				
I	2 (18,2%)	2 (18,2%)	3 (23,1%)	4 (30,8%)
II	4 (36,4%)	7 (63,6%)	9 (69,2%)	8 (61,5%)
III	5 (45,5%)	2 (18,2%)	1 (7,7%)	1 (7,7%)
ARISCAT:				
Baixo	1 (9,1%)	1 (9,1%)	12 (92,3%)	11 (84,6%)
Intermediário	5 (45,5%)	10 (90,9%)	1 (7,7%)	2 (15,4%)
Alto	5 (45,5%)*	0 (0,0%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Especialidade:				
Coloproctologia	4 (36,4%)	6 (54,5%)	0 (0,0%)	1 (7,7%)
Hepatobiliar	3 (27,3%)	1 (9,1%)	8 (61,5%)	9 (69,2%)
Gastrointestinal	4 (36,4%)	4 (36,4%)	5 (38,5%)	3 (23,1%)
Técnica anestésica:				
Geral	0 (0,0%)	0 (0,0%)	12 (92,3%)	13 (100%)
Geral + epidural	10 (90,9%)	10 (90,9%)	1 (7,7%)	0 (0,0%)
Geral + subaracnóideo	1 (9,1%)	1 (9,1%)	0 (0,0%)	0 (0,0%)
Duração (min):				
Cirurgia	250 [185-355]	190 [110-255]	95 [70-140]	95 [72,5-112,5]
Anestesia	305 [210-400]	225 [155-335]	125 [95-165]	125 [97,5-155]

Valores em média (desvio-padrão), mediana [intervalo interquartil] ou número de pacientes (%). ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; IMC: índice de massa corporal; ARISCAT: escore de risco de complicações pulmonares (CANET, GALLART, *et al.*, 2010); * $P < 0,05$ em comparação com o grupo MCsr.

Todas as cirurgias abertas foram realizadas sob anestesia geral combinada a algum bloqueio do neuroeixo (epidural ou subaracnóideo). Isso refletiu o cuidado da equipe de anesthesiologistas em prover analgesia pós-operatória de qualidade a esse grupo de pacientes.

As cirurgias abertas são potencialmente mais dolorosas em virtude das características das incisões e da aplicação de afastadores para acesso à cavidade abdominal. Por outro lado, à exceção de uma única cirurgia, todas as outras cirurgias videolaparoscópicas foram realizadas exclusivamente sob anestesia geral.

Tanto a duração dos procedimentos anestésicos quanto a dos procedimentos cirúrgicos foram significativamente maiores nas cirurgias abertas que nas cirurgias videolaparoscópicas, o que retrata o porte e a complexidade das cirurgias abertas. Contudo, a duração das cirurgias e dos procedimentos anestésicos foram semelhantes nos grupos ZEEP e MCsr, tanto nas cirurgias abertas quanto nas videolaparoscópicas.

5.1 Mecânica respiratória

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos quanto ao VC utilizado durante a ventilação mecânica (tabela 2). Em todos os pacientes, o VC ajustado foi mantido inalterado ao longo da cirurgia, sem necessidade de redução para manter $P_{plat} < 30 \text{ cmH}_2\text{O}$. Nenhum paciente do grupo ZEEP necessitou de ajuste da FiO_2 para manter $\text{SpO}_2 > 92\%$.

5.1.1 Ventilação basal

A ventilação mecânica com parâmetros basais estipulava um ajuste de $\text{PEEP} = 0 \text{ cmH}_2\text{O}$ (quadro 1). Entretanto, devido às características peculiares do aparelho de anestesia utilizado na condução dos procedimentos anestésicos (com ventiladores de fole ascendente), apesar de um ajuste de $\text{PEEP} = 0 \text{ cmH}_2\text{O}$, valores de $\text{PEEP} = 2 \text{ cmH}_2\text{O}$ foram obtidos.

Não houve diferenças significativas quanto aos valores de PEEP e DP basais entre os grupos. Os pacientes grupo MCsr submetidos à cirurgia aberta apresentaram uma Csr basal maior que a dos pacientes submetidos à cirurgia videolaparoscópica, tanto no grupo ZEEP (47,7 vs. 33,3 $\text{mL}\cdot\text{cmH}_2\text{O}^{-1}$, $P=0,024$) quanto no grupo MCsr (47,7 vs. 38,9 $\text{mL}\cdot\text{cmH}_2\text{O}^{-1}$, $P=0,038$). Não houve diferença significativa na Csr basal entre os demais grupos de pacientes (tabela 2 e figuras 8, 9, e 10).

DP basal $> 15 \text{ cmH}_2\text{O}$ foi observada em 1 paciente do grupo ZEEP e 1 paciente do grupo MCsr, ambos submetidos a cirurgias videolaparoscópicas ($P=0,622$).

5.1.2 Ajuste intermediário da PEEP

A PEEP intermediária foi maior que a PEEP basal nos pacientes do grupo MCsr submetidos a cirurgias abertas (8 vs. 2 cmH₂O, $P=0,003$) e cirurgias videolaparoscópicas (11 vs. 2 cmH₂O, $P<0,001$).

Tabela 2. Parâmetros ventilatórios e valores da mecânica do sistema respiratório.

	Cirurgias abertas		Cirurgias videolaparoscópicas	
	ZEEP (11)	MCsr (11)	ZEEP (13)	MCsr (13)
VC (mL·kg ⁻¹)	6,8 [6,6-7,1]	6,8 [6,5-7,4]	6,9 [6,8-7,1]	7,1 [6,9-7,4]
Valores basais:				
PEEP (cmH ₂ O)	2 [2-2]	2 [2-2]	2 [2-2]	2 [2-2]
DP (cmH ₂ O)	10 [8-12]	8 [7-10]	10 [8,5-12]	10 [9-12]
Csr (mL·cmH ₂ O ⁻¹)	39,3 [31,7-48,0]	47,7 [41,0-55,0] [#]	33,3 [29,8-41,8]	38,9 [27,0-45,5]
Valores intermediários:				
PEEP (cmH ₂ O)	2 [2-2]	8 [5-8] [*]	2 [2-2]	11 [10-14] [*]
DP (cmH ₂ O)	11 [9-13] [*]	7 [6-7] ^{*¶}	16 [14,5-18] [*]	12 [10-14,5] [¶]
Csr (mL·cmH ₂ O ⁻¹)	35,4 [28,3-45] [*]	59,2 [50-65,7] ^{*¶}	20,6 [20-26,2] [*]	34,1 [25,1-38,6] ^{*¶}
Valores finais:				
PEEP (cmH ₂ O)	2 [2-2]	6 [5-8]	2 [2-2]	11 [8-11] [§]
DP (cmH ₂ O)	12 [10-16] ^{*§}	7 [7-8] ^{*¶}	11 [10-13] ^{*§}	7 [6-8] ^{*§¶}
Csr (mL·cmH ₂ O ⁻¹)	31,0 [25,6-38,3] ^{*§}	53,6 [51-63,7] ^{*¶}	30,8 [27,9-35,8] ^{*§}	56,2 [45-58,6] ^{*§¶}

Valores em mediana [intervalo interquartil]. ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração; VC: volume corrente; DP: do inglês *driving pressure* ou pressão motriz estática; Csr: complacência estática do sistema respiratório; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; * $P<0,05$ em comparação com o basal; § $P<0,05$ em comparação com o valor intermediário; ¶ $P<0,05$ em comparação com o grupo ZEEP do mesmo tipo de cirurgia; # $P<0,05$ em comparação com os grupos ZEEP e MCsr das cirurgias videolaparoscópicas.

Nas cirurgias abertas, o grupo ZEEP apresentou DP intermediária maior que a basal (11 vs. 10 cmH₂O, $P=0,043$) e Csr intermediária menor que a basal (35,4 vs. 39,3 mL·cmH₂O⁻¹, $P=0,026$). No grupo MCsr, a DP intermediária foi menor que a basal (7 vs. 8 cmH₂O, $P=0,003$) e Csr intermediária foi maior que a basal (59,2 vs. 47,7 mL·cmH₂O⁻¹, $P<0,001$).

Nas cirurgias abertas, os grupos ZEEP e MCsr apresentaram diferenças significativas das DP e Csr intermediárias ($P<0,001$ e $P<0,001$, respectivamente).

Nas cirurgias videolaparoscópicas, o grupo ZEEP também apresentou aumento da DP intermediária em comparação com a basal (16 vs. 10 cmH₂O, $P<0,001$) e redução da Csr intermediária em comparação com a basal (33,3 vs. 20,6 cmH₂O, $P=0,043$). No grupo MCsr não houve diferença significativa entre a DP intermediária e a basal (12 vs. 10 cmH₂O, $P=0,08$),

mas houve diminuição da Csr intermediária em comparada à basal (34,1 vs. 38,9 cmH₂O, $P=0,042$).

À semelhança das cirurgias abertas, os grupos ZEEP e MCsr das cirurgias videolaparoscópicas também apresentaram diferenças significativas das DP e Csr intermediárias ($P<0,001$ e $P<0,004$, respectivamente).

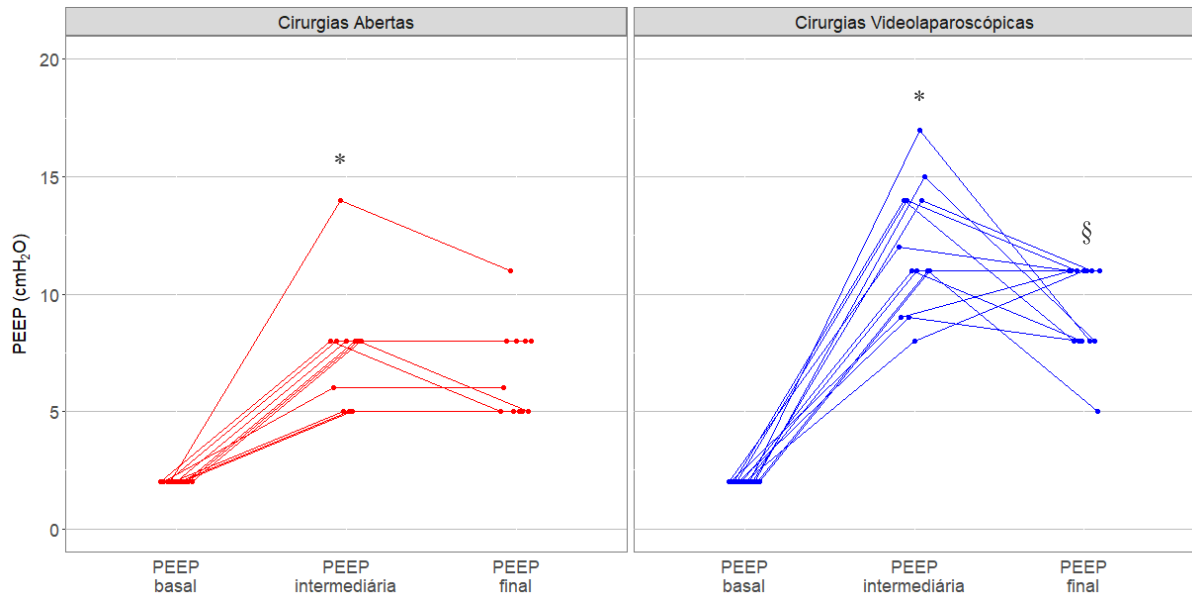


Figura 8. Ajustes da PEEP no grupo MCrs de acordo com o tipo de cirurgia.

PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; * $P<0,05$ em comparação com o basal; § $P<0,05$ em comparação com o valor intermediário.

Nas cirurgias abertas, apenas 1 paciente do grupo ZEEP apresentou DP intermediária > 15 cmH₂O. Entretanto, entre os pacientes submetidos a cirurgias videolaparoscópicas, 8 pacientes do grupo ZEEP e 1 paciente do grupo MCsr apresentaram DP intermediária > 15 cmH₂O ($P<0,001$).

5.1.3 Ajuste final da PEEP

Nas cirurgias abertas, a PEEP final do grupo MCsr não foi significativamente diferente da PEEP intermediária (6 vs. 8 cmH₂O, $P=0,083$). Nas cirurgias videolaparoscópicas, a PEEP final do grupo MCsr foi diferente da PEEP intermediária (11 vs. 11 cmH₂O, mediana da diferença = -3 cmH₂O, $P=0,028$), considerando as medidas pareadas da PEEP. Dos 13 pacientes desse grupo, 9 pacientes tiveram uma PEEP final menor que a intermediária, 2 pacientes tiveram uma PEEP igual à intermediária e 2 pacientes tiveram uma PEEP final maior que a intermediária.

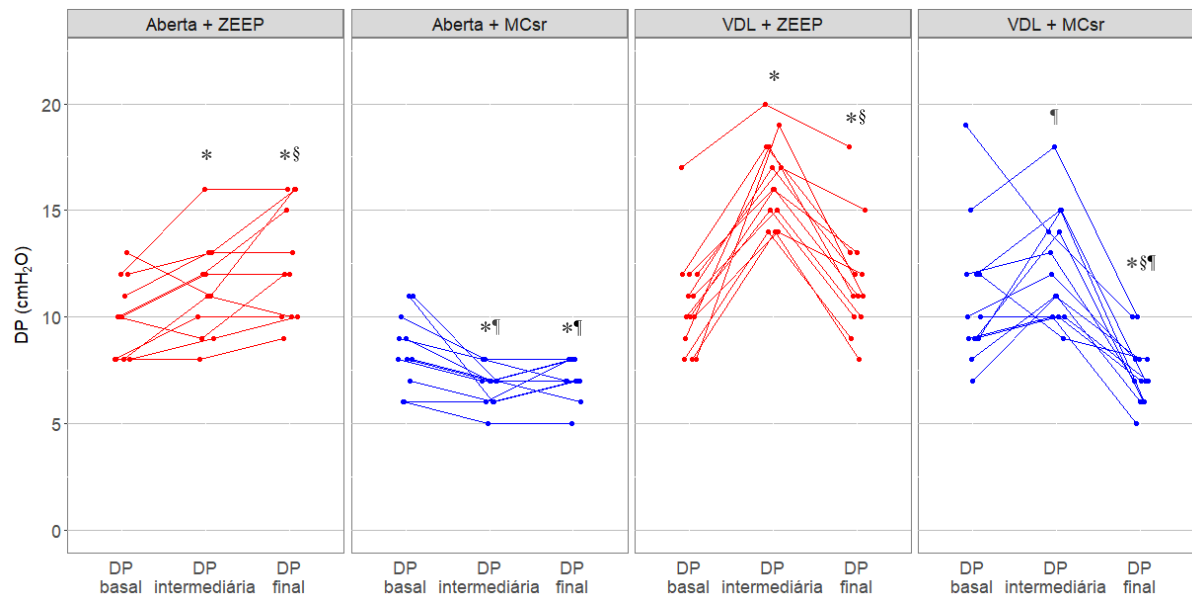


Figura 9. Valores da DP nos grupos ZEEP e MCsr de acordo com o tipo de cirurgia. ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; DP: do inglês *driving pressure* ou pressão motriz estática; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; VDL: cirurgias videolaparoscópicas; * $P < 0,05$ em comparação com o basal; § $P < 0,05$ em comparação com o valor intermediário; ¶ $P < 0,05$ em comparação com o grupo ZEEP do mesmo tipo de cirurgia.

Nas cirurgias abertas, o grupo ZEEP apresentou DP final maior que a intermediária (12 vs. 11 cmH₂O, $P=0,035$) e maior que a basal (12 vs. 10 cmH₂O, $P=0,003$). Nesse mesmo grupo, a Csr final foi menor que a intermediária (31,0 vs. 35,4 mL·cmH₂O⁻¹, $P=0,014$) e menor que a basal (31,0 vs. 39,3 mL·cmH₂O⁻¹, $P=0,003$).

Ainda nas cirurgias abertas, não houve diferença significativa entre a DP final e a intermediária no grupo MCsr (7 vs. 7 cmH₂O, $P=0,206$), mas a DP final foi menor que a basal (7 vs. 8 cmH₂O, $P=0,048$). Nesse grupo, não houve diferença significativa entre a Csr final e a intermediária (53,6 vs. 59,2 mL·cmH₂O⁻¹, $P=0,328$), mas a Csr final foi maior que a basal (53,6 vs. 47,7 mL·cmH₂O⁻¹, $P=0,019$).

Nas cirurgias abertas, os grupos ZEEP e MCsr apresentaram diferenças significativas das DP e Csr finais ($P < 0,001$ e $P < 0,001$, respectivamente).

Nas cirurgias videolaparoscópicas, o grupo ZEEP apresentou DP final menor que a intermediária (11 vs. 16 cmH₂O, $P < 0,001$) e maior que a DP basal (11 vs. 10 cmH₂O, $P=0,008$). A Csr final foi maior que a intermediária (30,8 vs. 20,6 mL·cmH₂O⁻¹, $P < 0,001$) e menor que a basal nesse grupo (30,8 vs. 33,3 mL·cmH₂O⁻¹, $P=0,025$).

Ainda nas cirurgias videolaparoscópicas, o grupo MCsr apresentou DP final menor que a DP intermediária (7 vs. 12 cmH₂O, $P < 0,001$) e menor que a basal (7 vs. 10 cmH₂O, $P=0,002$). Nesse mesmo grupo, a Csr final foi maior que a Csr intermediária

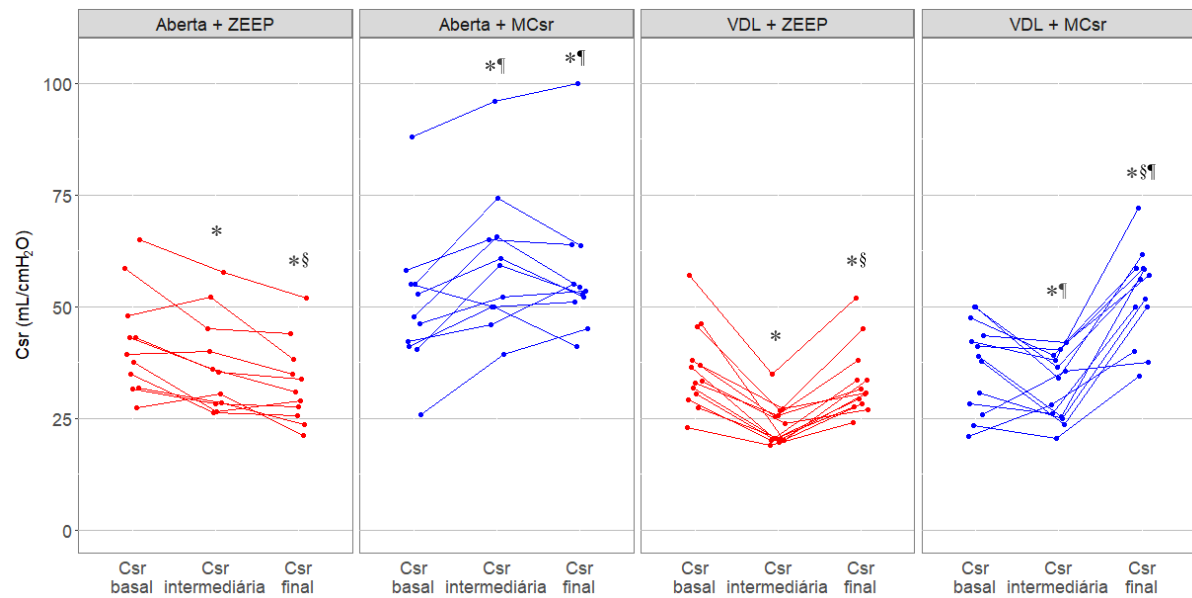


Figura 10. Valores da Csr nos grupos ZEEP e MCsr de acordo com o tipo de cirurgia.

ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; Csr: complacência estática do sistema respiratório; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; VDL: cirurgias videolaparoscópicas; * $P < 0,05$ em comparação com o basal; § $P < 0,05$ em comparação com o valor intermediário; ¶ $P < 0,05$ em comparação com o grupo ZEEP do mesmo tipo de cirurgia.

(56,2 vs. 34,1 mL·cmH₂O⁻¹, $P < 0,001$) e maior que a Csr basal (56,2 vs. 38,9 mL·cmH₂O⁻¹, $P = 0,025$).

À semelhança das cirurgias abertas, os grupos ZEEP e MCsr das cirurgias videolaparoscópicas também apresentaram diferenças significativas das DP e Csr finais ($P < 0,001$ e $P < 0,001$, respectivamente).

DP > 15 cmH₂O foi observada em 3 pacientes do grupo ZEEP submetidos a cirurgias abertas e em apenas 1 paciente do grupo ZEEP submetido a cirurgia videolaparoscópica ($P = 0,061$).

5.1.4 Análise *post-hoc*

Uma análise *post-hoc* foi realizada com os 48 pacientes incluídos no estudo em relação aos valores da PEEP ajustada nos 3 momentos distintos avaliados. Através do *software* G*power 3.1.9.7 (Franz Paul, Universidade de Kiel, Alemanha), assumindo um tamanho do efeito (Cohen d) para a dP = 3, teste bicaudal, erro alfa = 0,05 e alocação dos pacientes na proporção 1:1 entre os grupos, o poder calculado foi de 99%.

Tabela 3. Outros desfechos.

	Cirurgias abertas		Cirurgias videolaparoscópicas	
	ZEEP (11)	MCsr (11)	ZEEP (13)	MCsr (13)
Tempo até ajuste da PEEP (min):	---	11 (9-12)	---	9 (8-9,5)
Complicações intraoperatórias:				
0	11 (100%)	5 (45,5%)	13 (100%)	11 (84,6%)
1	0 (0%)	4 (36,4%)	0 (0%)	2 (15,4%)
2 ou mais	0 (0%)	2 (18,2%)	0 (0%)	0 (0%)
SpO ₂ :				
Inicial (%)	97 [97-98]	98 [97-99]	98 [97-98]	98 [97,5-99]
Na alta da sala operatória (%)	96 [95-97]*	98 [97-98]	95 [94,5-96]*	98 [96,-98,5]
ΔSpO ₂ ≥ 3 p.p.	1 (9,1%)	0 (0%)	5 (38,5%)	1 (7,7%)
Hidratação venosa (mL)	2500 [2000-4500]	2000 [1500-3000]	1000 [750-2000]	1000 [750-1125]
Grau de dificuldade:				
Mínimo	11 (100%)	8 (72,7%)	13 (100%)	11 (84,6%)
Moderado	0 (0%)	3 (27,3%)	0 (0%)	2 (15,4%)
Acentuado	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)

Valores em mediana [intervalo interquartil] ou número de pacientes (%). ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; SpO₂: saturação periférica de oxigênio; ΔSpO₂: variação entre a SpO₂ inicial (antes da cirurgia) e final (no momento da alta da sala operatória) ambas em ar ambiente, em pontos percentuais; * $P < 0,05$ em comparação com o valor inicial.

5.2 Outros desfechos

O tempo necessário para ajuste da PEEP no grupo MCsr foi maior nas cirurgias abertas que nas cirurgias videolaparoscópicas (11 vs. 9 min, $P=0,035$). Uma grande parcela de pacientes submetidos a cirurgias videolaparoscópicas foi incluída na segunda metade do estudo, quando as equipes de anesthesiologistas já estavam mais habituadas aos procedimentos de titulação da PEEP. Tal fato pode explicar parcialmente essa diferença encontrada no tempo necessário para ajuste da PEEP entre os grupos (tabela 3).

Das complicações intraoperatórias relacionadas às estratégias ventilatórias, a hipotensão foi a complicação mais frequente. Todos os episódios de hipotensão relacionada ao protocolo do estudo ocorreram no grupo MCsr ($P=0,008$), foram mais frequentes nas cirurgias abertas que nas videolaparoscópicas, surgiram durante as últimas etapas de recrutamento pulmonar, tiveram duração inferior a 3 minutos e foram corrigidos com doses pequenas de vasopressores ou com a redução da PEEP durante a fase de titulação decremental. Nenhum paciente apresentou complicações respiratórias intraoperatórias relacionadas aos protocolos de ventilação.

A SpO₂ no momento da alta da sala operatória do grupo ZEEP foi significativamente menor que a SpO₂ inicial, tanto nas cirurgias abertas (97% vs. 96%, $P=0,033$) quanto nas videolaparoscópicas (98% vs. 95%, $P<0,001$ – figura 11). Uma redução ≥ 3 pontos percentuais entre a SpO₂ inicial e a do momento da alta da sala operatória foi significativamente mais frequente no grupo ZEEP submetido a cirurgias videolaparoscópicas ($P=0,035$). Não houve relação entre a diferença da SpO₂ inicial e a do momento da alta da sala operatória com sexo, estado físico ASA, tipo de técnica anestésica empregada ou escore ARISCAT.

O volume de fluidos intravenosos infundidos como parte da reposição volêmica perioperatória foi significativamente maior nas cirurgias abertas que nas cirurgias videolaparoscópicas ($P<0,001$), o que espelha características próprias dos portes das cirurgias abertas. Entretanto, nas cirurgias abertas e nas videolaparoscópicas, não houve diferença significativa no volume de fluidos infundidos entre os grupos ZEEP e MCsr.

Não houve diferença significativa no grau de dificuldade e interferência dos métodos de ajuste da PEEP no cuidado do paciente. Nenhuma equipe de anesthesiologistas julgou que as estratégias de ajuste da PEEP acarretaram prejuízo no cuidado perioperatório a ponto de comprometer a segurança do paciente.

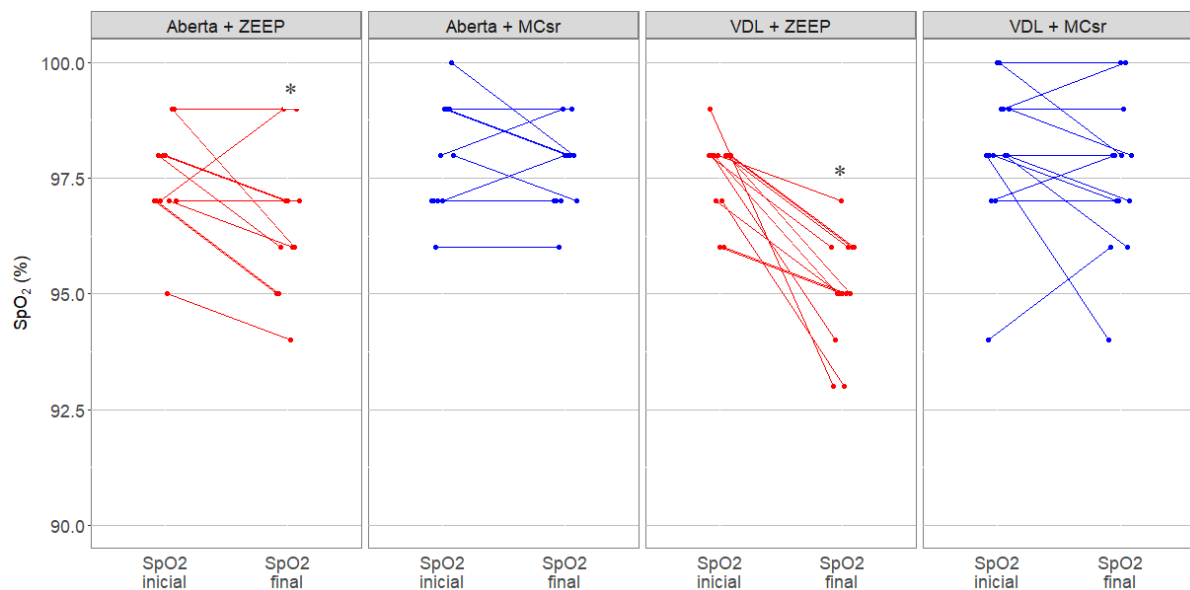


Figura 11. Valores da SpO₂ inicial e final nos grupos ZEEP e MCrs de acordo com o tipo de cirurgia. ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; MCsr: máxima complacência do sistema respiratório; VDL: cirurgias videolaparoscópicas; SpO₂: saturação periférica de oxigênio; * $P<0,05$ em comparação com o basal.

6 Discussão

Considerando os potenciais efeitos dos ajustes dos parâmetros da ventilação mecânica realizada no período intraoperatório sobre a incidência de CPPs, e a ausência de uma rotina do serviço de anestesiologia do HFSE para ventilação mecânica dos pacientes submetidos a cirurgias abdominais sob anestesia geral, esse estudo propôs uma matriz de protocolo de ventilação mecânica intraoperatória onde o ajuste da PEEP foi individualizado pela máxima Csr.

Os efeitos hemodinâmicos e respiratórios desta estratégia foram comparados com os obtidos com um regime de ventilação mecânica com ZEEP e os principais achados desse estudo foram:

- a) Nas cirurgias abertas, a mecânica ventilatória dos pacientes ventilados com PEEP ajustada na máxima Csr foi melhor que a dos pacientes ventilados com ZEEP e permaneceu estável ao longo da cirurgia, enquanto a dos pacientes ventilados com ZEEP deteriorou-se;
- b) Nas cirurgias videolaparoscópicas, a mecânica ventilatória dos pacientes ventilados com PEEP ajustada na máxima Csr também foi melhor que a dos pacientes ventilados com ZEEP, e o impacto do pneumoperitônio sobre a mecânica ventilatória foi menor nos pacientes com PEEP ajustada pela máxima Csr que naqueles ventilados com ZEEP;
- c) A PEEP ajustada na máxima Csr é maior nas cirurgias videolaparoscópicas que nas cirurgias abertas;
- d) Há grande variação do valor da PEEP ajustada pela máxima Csr, mas a PEEP sempre foi maior ou igual a 5 cmH₂O;
- e) A incidência de hipotensão nos pacientes ventilados com PEEP ajustada na máxima Csr foi pequena e de rápida resolução;
- f) Os pacientes com PEEP ajustada na máxima Csr não receberam volumes maiores de fluidos intravenosos no intraoperatório;
- g) Os níveis de oxigenação pós-operatória imediata foram melhores nos pacientes ventilados com PEEP ajustada pela máxima Csr;
- h) O protocolo de ventilação com ajuste de PEEP pela máxima Csr foi aplicado sem prejuízo às outras tarefas relacionadas aos cuidados anestésicos intraoperatórios.

Neste estudo, os parâmetros de mecânica do sistema respiratório (DP e Csr) dos pacientes ventilados com PEEP após manobras de recrutamento alveolar foram melhores que os parâmetros dos pacientes ventilados com ZEEP, à semelhança de outros estudos (FUTIER, CONSTANTIN, *et al.*, 2013, LI, ZHENG, *et al.*, 2021, PROVE NETWORK INVESTIGATORS FOR THE CLINICAL TRIAL NETWORK OF THE EUROPEAN SOCIETY OF ANAESTHESIOLOGY, HEMMES, *et al.*, 2014). Comparando estratégias de ventilação onde o ajuste da PEEP foi individualizado por algum método com estratégias onde a PEEP foi ajustada em valores pré-determinados e fixos, a oxigenação e a mecânica do sistema respiratório dos pacientes ventilados com PEEP individualizada foram melhores que as dos pacientes ventilados com PEEP fixa (FERRANDO, SORO, *et al.*, 2018, FERRANDO, SUAREZ-SIPMANN, *et al.*, 2017, PEREIRA, TUCCI, *et al.*, 2018).

Neste estudo, destaca-se o marcante impacto das manobras de recrutamento pulmonar e do ajuste individualizado da PEEP no comportamento da mecânica respiratória dos pacientes submetidos às cirurgias videolaparoscópicas. Enquanto os pacientes do grupo ZEEP apresentaram variações de DP e Csr de grandes proporções durante o pneumoperitônio (variações medianas de 50% e -33%, respectivamente), a repercussão nos pacientes do grupo MCsr foi reduzida em mais da metade (variações medianas de 20% e -12%, respectivamente). Esse efeito, contudo, é alcançado às custas de valores de PEEP maiores que aqueles titulados nas cirurgias abertas. Resultados semelhantes também foram obtidos quando o ajuste de PEEP foi realizado com tomografia de impedância elétrica (PEREIRA, TUCCI, *et al.*, 2018) ou pela mínima E_{rs} (CARVALHO, 2016). Sabe-se que o pneumoperitônio causa alterações no sistema respiratório que se sobrepõem às já causadas pela anestesia geral (FAHY, BARNAS, *et al.*, 1995, LORING, BEHAZIN, *et al.*, 2014, VALENZA, CHEVALLARD, *et al.*, 2010). Pelosi *et al.* (1996) demonstraram que a insuflação de CO₂ intraperitoneal causa redução da CRF e das complacências da parede torácica e pulmonar. A redução da complacência da parede torácica provavelmente é causada pela limitação das excursões diafragmáticas e pelo enrijecimento da parte diafragmática/abdominal da parede torácica induzidos pela insuflação do pneumoperitônio. Distorções do parênquima pulmonar causadas pela transmissão heterogênea da pressão intra-abdominal à superfície dos pulmões podem explicar parcialmente a redução da complacência pulmonar.

Houve grande variabilidade nos valores da PEEP ajustada pela máxima C_{sr}. Os coeficientes de variação da PEEP intermediária e final das cirurgias abertas foram maiores que os das cirurgias videolaparoscópicas (33% e 30% vs. 22% e 21%, respectivamente). Em estudo

sobre estratégia individualizada para ajuste de PEEP em colecistectomias videolaparoscópicas, Carvalho (2016) relatou que a PEEP titulada pela mínima Esr após insuflação do pneumoperitônio apresentou coeficiente de variação de 25%. Esses resultados reforçam como estratégias de ventilação com PEEP fixa (em valores baixos ou elevados) podem resultar em mecânica ventilatória subotimizada, desequilíbrio entre áreas de hiperdistensão e colapso alveolares e ineficiência das trocas gasosas.

Os relatos de hipotensão e uso de fármacos vasoativos nos estudos que utilizam manobras de recrutamento alveolar e aplicação de PEEP em cirurgias abdominais são frequentes e heterogêneos. De forma semelhante, não há consenso sobre os efeitos do ajuste intraoperatório da PEEP sobre a administração de fluidos (FUTIER, CONSTANTIN, *et al.*, 2013, NESTLER, SIMON, *et al.*, 2017, PEREIRA, TUCCI, *et al.*, 2018, PROVE NETWORK INVESTIGATORS FOR THE CLINICAL TRIAL NETWORK OF THE EUROPEAN SOCIETY OF ANAESTHESIOLOGY, HEMMES, *et al.*, 2014, SEVERGNINI, SELMO, *et al.*, 2013, SIMON, GIRRBACH, *et al.*, 2021). Fatores relacionados ao desenho dos ensaios clínicos, aos tipos de cirurgias (abertas vs. laparoscópicas), e às características dos pacientes (p.ex. obesidade) parecem influenciar os valores ajustados da PEEP no intraoperatório e, conseqüentemente, as repercussões hemodinâmicas secundárias a esse ajuste.

Neste estudo, não houve diferença significativa no volume de fluidos infundidos entre pacientes dos grupos ZEEP e MCsr, tanto nas cirurgias abertas quanto nas videolaparoscópicas.

Nenhum paciente do grupo ZEEP necessitou de ajustes da PEEP acima dos valores basais ou de manobras de recrutamento como medidas de resgate para uma $SpO_2 < 92\%$ (quadro 2). Por isso, não houve hipotensão atribuível ao protocolo de ventilação nesses pacientes. Já nos pacientes do grupo MCsr, a incidência de hipotensão foi maior naqueles submetidos a cirurgias abertas que nos submetidos a cirurgias videolaparoscópicas. Algumas hipóteses podem ser formuladas para explicar esse comportamento. As cirurgias abertas tinham uma expectativa de duração mais prolongada e as doses de alguns fármacos anestésicos (notadamente dos opioides) podem ter sido maiores nesses pacientes que nos das cirurgias videolaparoscópicas, tornando-os mais susceptíveis aos efeitos hemodinâmicos do recrutamento pulmonar e dos valores de PEEP mais elevados. A vasta maioria dos pacientes do grupo MCsr submetidos a cirurgias abertas também recebeu, como parte da técnica anestésica, bloqueio epidural com anestésicos locais que causa bloqueio das fibras simpáticas, vasodilatação venosa e redução do retorno venoso. As manobras de recrutamento e ajuste de PEEP aumentam a pressão intratorácica enquanto são realizadas e podem acentuar, ainda que

temporariamente, a queda do retorno venoso e precipitar episódios de hipotensão. Apesar dos valores de PEEP empregados nos pacientes do grupo MCsr das cirurgias videolaparoscópicas terem sido maiores que os aplicados aos pacientes das cirurgias abertas, isso não se traduziu em uma incidência de hipotensão maior nos pacientes do grupo MCsr submetidos a cirurgias videolaparoscópicas. O aumento da pressão arterial, da resistência vascular sistêmica e das pressões de enchimento ventriculares desencadeadas pela instalação do pneumoperitônio (O'MALLEY, CUNNINGHAM, 2001) podem conferir certa proteção contra a hipotensão, desde que os pacientes encontrem-se normovolêmicos. Contudo, essas alterações hemodinâmicas próprias da fisiologia do pneumoperitônio podem não ser suficientes para evitar hipotensão em situações onde a PEEP titulada é ajustada em valores muito elevados, como nos pacientes obesos submetidos a cirurgias videolaparoscópicas (NESTLER, SIMON, *et al.*, 2017, SIMON, GIRRBACH, *et al.*, 2021).

A maioria dos eventos de hipotensão ocorreu durante a fase intermediária de titulação da PEEP, logo após abertura da parede abdominal e colocação dos afastadores cavitários ou depois da insuflação do pneumoperitônio. Os procedimentos de recrutamento e titulação decremental da PEEP eram iniciados obstinadamente com mínimo atraso e, muitas vezes, coincidiam com outros eventos perioperatórios, também associados à labilidade hemodinâmica, como o ajuste da profundidade da anestesia, a instalação do bloqueio epidural, e a reposição volêmica ainda insuficiente, por exemplo. Dessa maneira, pode-se especular que um protocolo mais flexível, em que o momento do recrutamento e da titulação decremental da PEEP possa ser adiado em alguns minutos, adaptando-se a eventos perioperatórios, obtenha os mesmos efeitos na mecânica respiratória, mas com menor impacto sobre o sistema cardiovascular.

O tempo consumido no processo de ajuste da PEEP no grupo MCsr foi um pouco maior nas cirurgias abertas que nas cirurgias videolaparoscópicas. Os pacientes submetidos a cirurgias videolaparoscópicas precisaram de menos etapas para recrutamento inicial e titulação decremental da PEEP. Outro fato que pode explicar parcialmente essa diferença foi que uma grande parcela de pacientes submetidos a cirurgias videolaparoscópicas foi incluída na segunda metade do estudo, quando as equipes de anesthesiologistas já estavam mais habituadas aos procedimentos de titulação da PEEP.

O protocolo de ajuste da PEEP previa um tempo máximo de aproximadamente 8 min 45 s. Pacientes submetidos a ambos os tipos de cirurgias acabaram ultrapassando esse tempo. Durante a condução dos primeiros casos, já ficou bastante evidente que isso ocorria pela necessidade da coleta dos dados hemodinâmicos e ventilatórios em paralelo ao processo de

titulação decremental da PEEP, o que prolongava o tempo em que cada paciente permanecia em determinado nível de PEEP. É possível que esse aumento do tempo da titulação decremental tenha também contribuído para a ocorrência de alguns dos episódios de hipotensão relacionado ao protocolo de ventilação.

Os pacientes do grupo ZEEP apresentaram SpO₂ no momento da alta da sala operatória mais baixa em comparação com a SpO₂ inicial, sendo essa queda ainda mais acentuada e frequente nos pacientes submetidos a cirurgias videolaparoscópicas. Nos pacientes do grupo MCsr, a SpO₂ no momento da alta da sala operatória foi semelhante à inicial. No período pós-operatório imediato, a hipoventilação alveolar é uma causa comum de SpO₂ baixa quando se respira ar ambiente e pode ocorrer por efeito residual dos fármacos anestésicos, obstrução das vias aéreas superiores ou dor intensa o suficiente para limitar o volume corrente. Todos os pacientes desse estudo, entretanto, tiveram alta da sala de cirurgia com escores de Aldrete-Kroulik ≥ 9 , indicando recuperação anestésica adequada (ALDRETE, KROULIK, 1970) e tiveram tratamentos adequados da dor pós-operatória, com abordagens semelhantes nos grupos ZEEP e MCsr. Os valores mais baixos de SpO₂ no pós-operatório imediato dos pacientes do grupo ZEEP podem ser atribuídos ao *shunt* pulmonar nas áreas de atelectasias que se formaram nesses pacientes durante a anestesia geral e podem persistir por várias horas após a cirurgia (HEDENSTIERNA, 2012, HEDENSTIERNA, ROTHEN, 2012). Os efeitos do pneumoperitônio parecem favorecer o surgimento de mais áreas de atelectasia nesse subgrupo de pacientes e explicar o porquê de eles apresentarem uma queda mais pronunciada da SpO₂ pós-operatória.

A maioria das equipes de anesthesiologistas envolvidos no estudo relatou que o protocolo de ventilação com ajuste da PEEP pela máxima Csr não teve impacto adverso nas outras atividades desempenhadas durante os cuidados anestésicos, na vigilância dispensada ao paciente, ou na segurança geral do paciente. Informalmente, muitos anesthesiologistas mostraram interesse em incorporar o protocolo de ventilação às rotinas desempenhas no HFSE. Entretanto, não é possível descartar completamente que as opiniões emitidas possam ter um viés positivo, já que era impossível obtê-las de forma anônima. Do ponto de vista institucional, um conjunto de intervenções pode ser proposto e implementado gradativamente para promover a aderência dos anesthesiologistas a um protocolo de ventilação protetora intraoperatória, a exemplo de outras instituições (JOSEPHS, LEMMINK, *et al.*, 2018).

Do ponto de vista da viabilidade de implementação de um novo POP a um processo, o protocolo de ajuste individualizado da PEEP utilizado nesse estudo apresenta características

interessantes, em especial na esfera dos custos. A determinação do valor da PEEP é realizada apenas com a operação do próprio aparelho de anestesia, sem que nenhum novo equipamento ou dispositivo precise ser aplicado ao paciente, adaptado ao circuito ventilatório ou instalado como acessório no aparelho de anestesia. O protocolo para titulação da PEEP na máxima Csr pode ser executado em qualquer aparelho de anestesia contemporâneo. Na hipótese de substituição dos aparelhos de anestesia (p.ex. em casos de manutenção ou de novas aquisições), o mesmo protocolo de ajuste de PEEP pode ser aplicado, sem necessidade de adaptação do POP às características dos novos aparelhos. Os pacientes ventilados com ajuste individualizado da PEEP apresentaram melhores níveis oxigenação no período perioperatório o que possibilita o emprego de FiO₂ intraoperatória mais baixa e menor necessidade de suplementação de oxigênio no pós-operatório. Esse cenário abre a possibilidade de grande economia com os custos de aquisição e armazenamento de oxigênio, principalmente em situações de volatilidade de preços por desequilíbrio entre oferta e demanda, como na pandemia de Covid-19.

O presente estudo apresenta algumas limitações. Algumas especialidades cirúrgicas, como a ginecologia e a urologia, não tiveram pacientes incluídos no estudo. Apesar de muitos pacientes dessas especialidades cirúrgicas preencherem os critérios de inclusão no estudo, questões relacionadas às escalas das cirurgias dificultariam o acompanhamento pleno dos procedimentos anestésicos. Estudos sobre ventilação protetora e ajustes individualizados de PEEP já foram realizados em pacientes dessas especialidades cirúrgicas (PIRIYAPATSOM, PHETKAMPANG, 2020, YOON, KIM, *et al.*, 2021) e não há indícios para acreditar que os pacientes do HFSE teriam um comportamento clínico diferente.

Os critérios de participação no estudo podem ser considerados conservadores, na medida que excluía pacientes com uma série de comorbidades. Pacientes portadores de doença cardíaca com baixa tolerância a exercícios físicos podem apresentar alterações hemodinâmicas mais pronunciadas causadas por ajustes de PEEP mais elevados, principalmente nos pacientes com hipovolemia. Por outro lado, volumes pulmonares reduzidos relacionados à persistência das atelectasias no período pós-operatório podem aumentar o trabalho respiratório que, associado à hipoxemia, pode precipitar insuficiência respiratória nos pacientes com disfunção ventricular. São necessários mais estudos sobre os efeitos de uma estratégia de ventilação com ajuste individualizado da PEEP na incidência de complicações cardíacas e de CPPs nesse subgrupo de pacientes.

Os cuidados anestésicos em pacientes portadores de obesidade possuem uma série de particularidades que acabam por tornar os procedimentos anestésicos mais difíceis e

desafiadores. Estudos em pacientes obesos mostraram que, comparados com pacientes ventilados com uma PEEP fixa, os pacientes em que o ajuste da PEEP foi individualizado apresentaram melhora da oxigenação, da mecânica do sistema respiratório, da distribuição da ventilação e da CRF durante a anestesia, sem aumento significativo de efeitos adversos (NESTLER, SIMON, *et al.*, 2017, SIMON, GIRRBACH, *et al.*, 2021). Em cirurgias bariátricas videolaparoscópicas, Xavier (2020) mostrou que uma estratégia de ventilação com PEEP individualizada pela mínima E_{sr} também melhorou a oxigenação e a mecânica do sistema respiratório, quando comparada a uma estratégia ventilatória com PEEP fixa de 5 cmH₂O. Ainda assim, optou-se por excluir os pacientes com obesidade por entender que uma parcela dos anestesiológicos hesitaria em ventilar os pacientes com valores elevados de PEEP obtidos durante a titulação decremental, e que o protocolo de estudo correria grande risco de ser interrompido frente a qualquer aumento na carga de trabalho no período intraoperatório.

Apenas pacientes submetidos à cirurgia abdominal foram incluídos nesse estudo. Ainda que as atelectasias possam ocorrer em qualquer tipo de cirurgia e seu surgimento esteja relacionado aos efeitos da anestesia geral sobre o sistema respiratório (HEDENSTIERNA, EDMARK, 2010, MAGNUSSON, SPAHN, 2003), fatores presentes nas cirurgias abdominais parecem favorecer sua ocorrência. Por isso, a maioria dos estudos acerca de estratégias de ventilação protetora intraoperatória com ajustes individualizados de PEEP se concentrou nesse segmento de cirurgias. Os efeitos de manobras de recrutamento e titulação decremental da PEEP sobre a mecânica ventilatória e a troca gasosa já foram estudados em cirurgias extra-abdominais (MAISCH, REISSMANN, *et al.*, 2008). Ainda que a magnitude do efeito da PEEP na prevenção de atelectasias em cirurgias extra-abdominais possa ser menor que o das cirurgias abdominais, é razoável supor que o ajuste individualizado da PEEP pode ser aplicado a outros tipos de cirurgias, em pacientes selecionados e situações específicas.

Nesse estudo, não foi possível fazer o acompanhamento dos pacientes nos primeiros dias do período pós-operatório e avaliar a repercussão das estratégias ventilatórias sobre a incidência de CPPs.

6.1 Protocolo de ventilação mecânica do HFSE

Muitos estudos sobre estratégias de ventilação protetora no período intraoperatório vêm sendo publicados nos últimos 10 anos. Embora se perceba uma tendência à utilização de VC mais baixos e DP < 15 cmH₂O (BENDER, PAGANELLI, *et al.*, 2015, SCHAEFER, SERPA NETO, *et al.*, 2019), a aplicação desse conceito, na prática, ainda é bastante

heterogênea. No HFSE, também se observa uma grande diversidade de ajustes ventilatórios, muitas vezes utilizados mais por hábito e cultura locais que por critérios objetivos. E à semelhança do que ocorre em muitas outras áreas da medicina, velhos e até maus hábitos costumam a morrer.

No início de 2017, motivados pelos potenciais resultados desse estudo, alguns staffs do serviço de anestesiologia do HFSE consideraram que aquele era um momento oportuno para tentar reformular a maneira como a ventilação mecânica intraoperatória era realizada, e que o treinamento teórico-prático da equipe seria o caminho a ser percorrido, em vez de se impor, unilateralmente, um novo protocolo.

Nesse sentido, uma série de aulas expositivas abordando diferentes aspectos do tema “ventilação mecânica protetora intraoperatória” foram inseridas no cronograma das sessões clínicas do serviço de anestesiologia, onde médicos residentes e do staff têm a oportunidade de discutir vários temas relacionados ao conteúdo teórico da especialidade. Nas atividades práticas diárias no centro cirúrgico, procurou-se estimular o uso de VC entre 6 e 8 mL·kg⁻¹ e a programação manual de uma pausa inspiratória ($T_p:T_i$) = 20-30% para permitir o cálculo da Csr e da DP e familiarizar as equipes a obter e acompanhar esses parâmetros de mecânica ventilatória no curso da anestesia geral. Gradativamente, e em situações específicas, manobras de recrutamento pulmonar por aumento gradual da PEEP também foram treinadas. À época, havia o claro entendimento que as mudanças deveriam ser apresentadas à equipe em etapas, sempre salientando o fundamento por trás de cada uma dessas mudanças, para maximizar as chances de adesão futura do novo protocolo de ventilação protetora intraoperatória.

O protocolo de ventilação protetora proposto nesse estudo com uso de VC entre 6 e 8 mL·kg⁻¹ e titulação decremental da PEEP com ajuste na máxima Csr mostrou-se viável, seguro e teve bom acolhimento pelos membros do serviço de anestesiologia do HFSE. Diante desses resultados, as seguintes ações foram tomadas:

- a) Apresentação dos resultados desse estudo em sessão clínica do serviço de anestesiologia do HFSE com a participação de médicos residentes e do staff;
- b) Proposição da implementação de um POP para ventilação protetora como parte da rotina de cuidados anestésicos perioperatórios, com base no protocolo realizado nesse estudo;
- c) Discussão e incorporação das modificações propostas na versão final do POP (apêndice C) no protocolo de ventilação protetora perioperatória.

Na versão final do protocolo de ventilação (apêndice D), algumas mudanças foram propostas em relação ao protocolo original do estudo:

- a) Não limitar a execução do protocolo de ventilação com titulação de PEEP às cirurgias abdominais, entendendo, contudo, que os potenciais benefícios podem ser menores em cirurgias extra-abdominais;
- b) Flexibilizar a aplicação do protocolo à pacientes com obesidade, prevendo o ajuste de PEEP em valores mais elevados e suas repercussões;
- c) Flexibilizar a aplicação do protocolo em pacientes com doenças cardiovasculares ou pulmonares à critério do anestesiológico, em situações excepcionais, antevendo a baixa tolerabilidade desses pacientes a ajustes de PEEP em valores elevados, que pode resultar em interrupção das manobras de recrutamento e titulação ou a necessidade de suporte hemodinâmico farmacológico;
- d) Ajuste inicial da FR = 14 irpm, para compensar a apneia que se segue à intubação traqueal;
- e) PEEP = 5 cmH₂O, que foi o menor valor de PEEP ajustada no estudo, para minimizar exposição do paciente a ZEEP;
- f) Eliminar a realização sistemática de manobras de recrutamento e titulação da PEEP a cada hora.

Em março de 2021, o HFSE concluiu uma das etapas de modernização do parque tecnológico do centro cirúrgico com a aquisição de novos aparelhos de anestesia GE Datex-Ohmeda Aisys CS². Dentre as características dos novos aparelhos, destacam-se: (i) a interface do usuário relativa ao ajuste da ventilação mecânica, muito mais intuitiva, (ii) execução automática de ciclos de ventilação mecânica com possibilidade de programação de manobras de recrutamento pulmonar e de titulação decremental da PEEP, com acompanhamento de parâmetros de mecânica ventilatória (Csr e DP) e a possibilidade de intervenção do usuário a qualquer momento, e (iii) execução automática de manobras de capacidade vital programáveis.

Logo ficou evidente que os parâmetros de ventilação mecânica disponibilizados na configuração de fábrica não atendiam às demandas do novo protocolo de ventilação mecânica adotado pelo serviço de anestesiologia (figura 12). Discussões internas avaliaram que, se os parâmetros de fábrica fossem mantidos, novos parâmetros de ventilação mecânica precisariam ser inseridos a cada novo procedimento anestésico, o que poderia comprometer a adesão ao

novo protocolo de ventilação mecânica intraoperatória. Assim, nos dias subsequentes à instalação e testes, iniciou-se o processo de reconfiguração de todos os aparelhos de anestesia com os novos parâmetros de ventilação mecânica propostos no novo protocolo (figura 12 e apêndice B). Intervenção semelhante foi relatada por Chiao *et al.*, (2018) e resultou em aumento da aderência ao protocolo de ventilação protetora da instituição de 1,6% para 23% em 4 anos.

Preferencialmente, as etapas de recrutamento pulmonar e titulação decremental da PEEP serão realizadas manualmente em modo VCV com ajustes incrementais e decrementais da PEEP realizados pelo próprio anestesiológico. Porém, decidiu-se que 2 ciclos automatizados seriam programados e disponibilizados aos anestesiológicos. O ciclo #1 foi programado com a realização da manobra de recrutamento com incremento de PEEP, seguida da titulação decremental da PEEP com acompanhamento da Csr. Tanto a manobra de recrutamento quanto a titulação decremental da PEEP serão realizadas em modo PCV (por limitações impostas pelo



Figura 12. Processo de reprogramação do aparelho de anestesia GE Datex-Ohmeda Aisys CS².

A: Tela inicial com parâmetros de fábrica com VC = 8,5 mL.kg⁻¹, ZEEP, para adultos de 40 anos e 70 kg de peso ideal; B: Nova programação para VC = 7 mL.kg⁻¹; C: Programação dos demais parâmetros iniciais de ventilação mecânica; D: Tela inicial depois da reprogramação com os novos parâmetros, para adultos com características semelhantes às encontradas nos pacientes do estudo. VC: volume corrente; ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração.

próprio aparelho de anestesia) com variação de pressão de vias aéreas de 13 cmH₂O. A programação do ciclo #2 realiza uma manobra simples de recrutamento pulmonar com incrementos de PEEP em modo PCV, também com variação de pressão de vias aéreas de 13 cmH₂O, com retorno na PEEP a valores inseridos pelo anestesiológico. A programação do ciclo #1 e um exemplo de sua execução durante a anestesia estão ilustrados na figura 13. Uma possível inclusão desses ciclos pré-programados à rotina de ventilação protetora será avaliada futuramente com base na aderência ao protocolo, nos resultados obtidos sobre a mecânica respiratória e na avaliação de potenciais efeitos adversos.



Figura 13. Recrutamento pulmonar e titulação decremental da PEEP automáticos com o ciclo #1.

A: Esquema da programação do recrutamento pulmonar, seguida da redução sequencial da PEEP para titulação pela Csr; B: Execução do ciclo #1 em 3 min 30 s, com medidas da Csr durante o recrutamento e a titulação decremental da PEEP. PEEP: do inglês *positive end-expiratory pressure* ou pressão positiva ao final da expiração; Csr: complacência estática do sistema respiratório.

6.2 Perspectivas futuras

Dentro do conjunto de ações no projeto de modernização do centro cirúrgico do HFSE está prevista a conexão dos aparelhos de anestesia à rede interna de computadores do hospital. Existe negociação para a implantação do sistema *Carestation™ Insights Analytics*, um conjunto poderoso e robusto de aplicativos baseados em nuvem, facilmente acessados em desktops, laptops ou tablets, que gerencia mais de 300 pontos de dados recebidos do aparelho de anestesia, incluindo informações sobre ventilação mecânica (GE, 2021).

O módulo LPV (do inglês *Lung-Protective Ventilation* – figura 14) compila em um painel de controle, as informações sobre parâmetros ventilatórios, mecânica do sistema respiratório, e uso de manobras de recrutamento pulmonar e de PEEP de uma grande coorte de pacientes, em tempo real, sem qualquer intervenção humana e de forma anônima. Com um

conjunto de métricas, o módulo LPV permitirá auditar o comportamento dos anestesiológicos quanto à adesão ao protocolo de ventilação mecânica e identificar oportunidades para reforçar a importância das iniciativas de ventilação protetora intraoperatória. Os dados coletados pelo módulo LPV poderão, por exemplo, ser reportados periodicamente ao corpo clínico e utilizados como indicadores da qualidade dos cuidados anestésicos perioperatórios dispensados aos pacientes do HFSE.

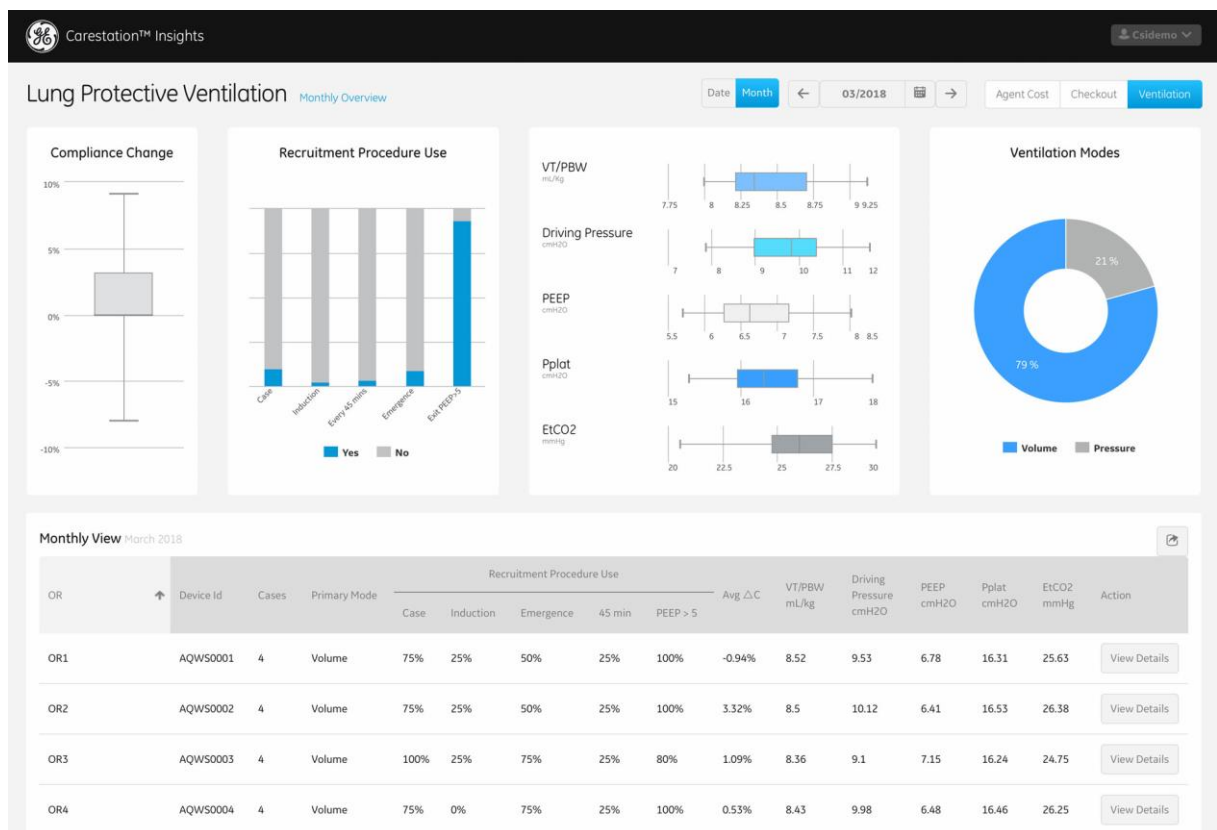


Figura 14. Exemplo de painel de controle do módulo LPV do Sistema *CareStation™ Insight Analytics*. LPV, do inglês *Lung-Protective Ventilation*.

7 Conclusões

O protocolo de ventilação mecânica protetora intraoperatória com manobra de recrutamento pulmonar seguida de titulação decremental da PEEP pela máxima C_{sr}, utilizado nesse estudo, melhorou a mecânica respiratória intraoperatória e oxigenação pós-operatória imediata dos pacientes submetidos a cirurgias abdominais, quando comparada a uma estratégia de ventilação intraoperatória com ZEEP.

O protocolo utilizado no estudo apresentou baixa incidência de efeitos adversos na população estudada e não causou interferência com o restante dos cuidados anestésicos intraoperatórios.

Com base no protocolo desse estudo, um POP foi criado e uma rotina de ventilação mecânica intraoperatória pôde ser adotada pelo serviço de anestesiologia do HFSE juntamente com a reconfiguração dos parâmetros iniciais de ventilação mecânica presentes nos aparelhos de anestesia do centro cirúrgico.

No futuro, através de aplicativos baseados em nuvem, espera-se acompanhar a aderência do corpo clínico do serviço de anestesiologia ao novo protocolo de ventilação mecânica, com possibilidade de implementação de ações que reforcem a importância da ventilação protetora no desfecho dos pacientes submetidos a cirurgias no HFSE.

Referências

ACUTE RESPIRATORY DISTRESS SYNDROME NETWORK, BROWER, R. G., MATTHAY, M. A., *et al.* "Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome.", **The New England journal of medicine**, v. 342, n. 18, p. 1301–8, 2000. DOI: 10.1056/NEJM200005043421801.

ALDRETE, J. A., KROULIK, D. "A postanesthetic recovery score.", **Anesthesia and analgesia**, v. 49, n. 6, p. 924–34, 1970.

AMATO, M. B. P., MEADE, M. O., SLUTSKY, A. S., *et al.* "Driving pressure and survival in the acute respiratory distress syndrome.", **The New England journal of medicine**, v. 372, n. 8, p. 747–55, 19 fev. 2015. DOI: 10.1056/NEJMsa1410639.

AMATO, M. B. P., BARBAS, C. S. V., MEDEIROS, D. M., *et al.* "Effect of a Protective-Ventilation Strategy on Mortality in the Acute Respiratory Distress Syndrome", **New England Journal of Medicine**, v. 338, n. 6, p. 347–354, 5 fev. 1998. DOI: 10.1056/NEJM199802053380602.

AROZULLAH, A. M., KHURI, S. F., HENDERSON, W. G., *et al.* "Development and Validation of a Multifactorial Risk Index for Predicting Postoperative Pneumonia after Major Noncardiac Surgery", **Annals of Internal Medicine**, v. 135, n. 10, p. 847, 20 nov. 2001. DOI: 10.7326/0003-4819-135-10-200111200-00005.

BEITLER, J. R. "Bedside respiratory physiology to detect risk of lung injury in acute respiratory distress syndrome", **Current Opinion in Critical Care**, v. 25, n. 1, p. 3–11, fev. 2019. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000579.

BENDER, S. P., PAGANELLI, W. C., GERETY, L. P., *et al.* "Intraoperative Lung-Protective Ventilation Trends and Practice Patterns: A Report from the Multicenter Perioperative Outcomes Group", **Anesthesia and analgesia**, v. 121, n. 5, p. 1231–1239, 2015. DOI: 10.1213/ANE.0000000000000940.

BENDIXEN, H. H., WHYTE, H., LAVER, M. B. "Impaired Oxygenation in Surgical Patients during General Anesthesia with Controlled Ventilation", **New England Journal of Medicine**, v. 269, n. 19, p. 991–996, 7 nov. 1963. DOI: 10.1056/NEJM196311072691901.

CANET, J., GALLART, L., GOMAR, C., *et al.* "Prediction of postoperative pulmonary complications in a population-based surgical cohort.", **Anesthesiology**, v. 113, n. 6, p. 1338–50, dez. 2010. DOI: 10.1097/ALN.0b013e3181fc6e0a.

CARVALHO, A. R. S., JANDRE, F. C., PINO, A. V., *et al.* "Positive end-expiratory pressure at minimal respiratory elastance represents the best compromise between mechanical stress and lung aeration in oleic acid induced lung injury", **Critical Care**, v. 11, n. 4, p. R86, 2007. DOI: 10.1186/cc6093.

CARVALHO, N. S. **Estratégia Individualizada para Titulação da Pressão Positiva ao Final da Expiração na Colecistectomia Videolaparoscópica**. 2016. 80 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2016.

CHIAO, S. S., COLQUHOUN, D. A., NAIK, B. I., *et al.* "Changing Default Ventilator Settings on Anesthesia Machines Improves Adherence to Lung-Protective Ventilation Measures.", **Anesthesia and analgesia**, v. 126, n. 4, p. 1219–1222, 2018. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002575.

DESIGNATION–INVESTIGATORS. "Driving Pressure During General Anesthesia for Open Abdominal Surgery (DESIGNATION): study protocol of a randomized clinical trial.", **Trials**, v. 21, n. 1, p. 198, 18 fev. 2020. DOI: 10.1186/s13063-020-4075-z.

DREYFUSS, D., SOLER, P., BASSET, G., *et al.* "High Inflation Pressure Pulmonary Edema: Respective Effects of High Airway Pressure, High Tidal Volume, and Positive End-expiratory Pressure", **American Review of Respiratory Disease**, v. 137, n. 5, p. 1159–1164, maio 1988. DOI: 10.1164/ajrccm/137.5.1159.

EGER II, E. I., SAIDMAN, L. J., WESTHORPE, R. N., "1844–1846: The Discovery and Demonstration of Anesthesia". In: EGER II, E. I., SAIDMAN, L. J., WESTHORPE, R. N. (Org.), **The Wondrous Story of Anesthesia**, New York, NY, Springer New York, 2014. p. 17–26. DOI: 10.1007/978-1-4614-8441-7_3.

ESTENSSORO, E., DUBIN, A., LAFFAIRE, E., *et al.* "Incidence, clinical course, and outcome in 217 patients with acute respiratory distress syndrome.", **Critical care medicine**, v. 30, n. 11, p. 2450–6, nov. 2002. DOI: 10.1097/00003246-200211000-00008.

FAHY, B. G., BARNAS, G. M., FLOWERS, J. L., *et al.* "The Effects of Increased Abdominal Pressure on Lung and Chest Wall Mechanics During Laparoscopic Surgery", **Anesthesia & Analgesia**, v. 81, n. 4, p. 744–750, out. 1995. DOI: 10.1097/00000539-199510000-00015.

FERRANDO, C., SORO, M., UNZUETA, C., *et al.* "Individualised perioperative open-lung approach versus standard protective ventilation in abdominal surgery (iPROVE): a randomised controlled trial", **The Lancet Respiratory Medicine**, v. 2600, n. 18, p. 1–11, 2018. DOI: 10.1016/S2213-2600(18)30024-9.

FERRANDO, C., SUAREZ-SIPMANN, F., TUSMAN, G., *et al.* "Open lung approach versus standard protective strategies: Effects on driving pressure and ventilatory efficiency during anesthesia - A pilot, randomized controlled trial", **PLoS ONE**, v. 12, n. 5, p. 1–12, 2017. DOI: 10.1371/journal.pone.0177399.

FUTIER, E., CONSTANTIN, J.-M., PAUGAM-BURTZ, C., *et al.* "A trial of intraoperative low-tidal-volume ventilation in abdominal surgery.", **The New England journal of medicine**, v. 369, n. 5, p. 428–37, 1 ago. 2013. DOI: 10.1056/NEJMoa1301082.

GALLART, L., CANET, J. "Post-operative pulmonary complications: Understanding definitions and risk assessment.", **Best practice & research. Clinical anaesthesiology**, v. 29, n. 3, p. 315–30, set. 2015. DOI: 10.1016/j.bpa.2015.10.004.

GATTINONI, L., CARLESSO, E., CRESSONI, M. "Selecting the ‘right’ positive end-expiratory pressure level", **Current Opinion in Critical Care**, v. 21, n. 1, p. 50–57, 2015. DOI: 10.1097/MCC.0000000000000166.

GATTINONI, L., PROTTI, A., CAIRONI, P., *et al.* "Ventilator-induced lung injury: The anatomical and physiological framework", **Critical Care Medicine**, v. 38, p. S539–S548, out. 2010. DOI: 10.1097/CCM.0b013e3181f1fcf7.

GE. **Carestation™ Insights Analytics Applications**. 2021. Disponível em: https://www.gehealthcare.com/-/jssmedia/gehc/us/files/products/carestation-insights/brochure_carestation_insights_portfolio_arc_jb00126xx.pdf?rev=-1. Acesso em: 4 jan. 2022.

GÜLDNER, A., KISS, T., SERPA NETO, A., *et al.* "Intraoperative protective mechanical ventilation for prevention of postoperative pulmonary complications: a comprehensive review of the role of tidal volume, positive end-expiratory pressure, and lung recruitment maneuvers.", **Anesthesiology**, v. 123, n. 3, p. 692–713, set. 2015. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000754.

HEDENSTIERNA, G. "Oxygen and anesthesia: what lung do we deliver to the post-operative ward?", **Acta Anaesthesiologica Scandinavica**, v. 56, n. 6, p. 675–685, jul. 2012. DOI: 10.1111/j.1399-6576.2012.02689.x.

HEDENSTIERNA, G., EDMARK, L. "Effects of anesthesia on the respiratory system.", **Best practice & research. Clinical anaesthesiology**, v. 29, n. 3, p. 273–84, set. 2015. DOI: 10.1016/j.bpa.2015.08.008.

HEDENSTIERNA, G., EDMARK, L. "Mechanisms of atelectasis in the perioperative period", **Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology**, v. 24, n. 2, p. 157–169, jun. 2010. DOI: 10.1016/j.bpa.2009.12.002.

HEDENSTIERNA, G., ROTHEN, H. U., "Respiratory Function During Anesthesia: Effects on Gas Exchange". **Comprehensive Physiology**, Hoboken, NJ, USA, John Wiley & Sons, Inc., 2012. p. 69–96. DOI: 10.1002/cphy.c080111.

HESS, D. R. "Recruitment Maneuvers and PEEP Titration.", **Respiratory care**, v. 60, n. 11, p. 1688–704, nov. 2015. DOI: 10.4187/respcare.04409.

HESS, D. R., KONDILI, D., BURNS, E., *et al.* "A 5-year observational study of lung-protective ventilation in the operating room: a single-center experience.", **Journal of critical care**, v. 28, n. 4, p. 533.e9–15, ago. 2013. DOI: 10.1016/j.jcrc.2012.11.014.

JAMMER, I., WICKBOLDT, N., SANDER, M., *et al.* "Standards for definitions and use of outcome measures for clinical effectiveness research in perioperative medicine: European Perioperative Clinical Outcome (EPCO) definitions: A statement from the ESA-ESICM joint taskforce on perioperative outcome measur", **European Journal of Anaesthesiology**, v. 32, n. 2, p. 88–105, 2015. DOI: 10.1097/EJA.0000000000000118.

JOSEPHS, S. A., LEMMINK, G. A., STRONG, J. A., *et al.* "Improving Adherence to Intraoperative Lung-Protective Ventilation Strategies at a University Medical Center", **Anesthesia & Analgesia**, v. 126, n. 1, p. 150–160, jan. 2018. DOI: 10.1213/ANE.0000000000002299.

KAVANAGH, B. P., HEDENSTIERNA, G., "Respiratory Physiology and Pathophysiology". In: MILLE, R. D., COHEN, N. H., ERIKSSON, L. I., *et al.* (Org.), **Miller's Anesthesia**, 8th ed. Philadelphia, PA, Elsevier Inc., 2014. p. 444-472-e4.

- LAWRENCE, V. A., DHANDA, R., HILSENBECK, S. G., *et al.* "Risk of Pulmonary Complications After Elective Abdominal Surgery", **Chest**, v. 110, n. 3, p. 744–750, set. 1996. DOI: 10.1378/chest.110.3.744.
- LEVIN, M. A. A., MCCORMICK, P. J. J., LIN, H. M. M., *et al.* "Low intraoperative tidal volume ventilation with minimal PEEP is associated with increased mortality", **British journal of anaesthesia**, v. 113, n. 1, p. 97–108, jul. 2014. DOI: 10.1093/bja/aeu054.
- LI, H., ZHENG, Z.-N., ZHANG, N., *et al.* "Intra-operative open-lung ventilatory strategy reduces postoperative complications after laparoscopic colorectal cancer resection", **European Journal of Anaesthesiology**, v. 38, n. 10, p. 1042–1051, out. 2021. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001580.
- LORING, S. H., BEHAZIN, N., NOVERO, A., *et al.* "Respiratory mechanical effects of surgical pneumoperitoneum in humans.", **Journal of applied physiology (Bethesda, Md. : 1985)**, v. 117, n. 9, p. 1074–9, 1 nov. 2014. DOI: 10.1152/jappphysiol.00552.2014.
- MAGNUSSON, L., SPAHN, D. R. "New concepts of atelectasis during general anaesthesia.", **British journal of anaesthesia**, v. 91, n. 1, p. 61–72, jul. 2003. DOI: 10.1093/bja/aeg085.
- MAISCH, S., REISSMANN, H., FUELLEKRUG, B., *et al.* "Compliance and dead space fraction indicate an optimal level of positive end-expiratory pressure after recruitment in anesthetized patients.", **Anesthesia and analgesia**, v. 106, n. 1, p. 175–81, table of contents, jan. 2008. DOI: 10.1213/01.ane.0000287684.74505.49.
- MARTYN, J. A. J., "Neuromuscular Physiology and Pharmacology". In: MILLE, R. D., COHEN, N. H., ERIKSSON, L. I., *et al.* (Org.), **Miller's Anesthesia**, 8th. ed. Philadelphia, PA, Elsevier Inc., 2014. p. 423-443-e2.
- MAZO, V., SABATÉ, S., CANET, J., *et al.* "Prospective External Validation of a Predictive Score for Postoperative Pulmonary Complications.", **Anesthesiology**, 4 jun. 2014. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000334.
- MEAD, J., TAKISHIMA, T., LEITH, D. "Stress distribution in lungs: a model of pulmonary elasticity.", **Journal of Applied Physiology**, v. 28, n. 5, p. 596–608, maio 1970. DOI: 10.1152/jappl.1970.28.5.596.
- MISKOVIC, A., LUMB, A. B. "Postoperative pulmonary complications", **British Journal of Anaesthesia**, v. 118, n. 3, p. 317–334, mar. 2017. DOI: 10.1093/bja/aex002.
- NESTLER, C., SIMON, P., PETROFF, D., *et al.* "Individualized positive end-expiratory pressure in obese patients during general anaesthesia: a randomized controlled clinical trial using electrical impedance tomography", **British Journal of Anaesthesia**, v. 119, n. 6, p. 1194–1205, dez. 2017. DOI: 10.1093/bja/aex192.
- NETO, A. S., HEMMES, S. N. T., BARBAS, C. S. V., *et al.* "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**, v. 4, n. 4, p. 272–80, abr. 2016. DOI: 10.1016/S2213-2600(16)00057-6.

O'MALLEY, C., CUNNINGHAM, A. J. "Physiologic Changes During Laparoscopy", **Anesthesiology Clinics of North America**, v. 19, n. 1, p. 1–19, mar. 2001. DOI: 10.1016/S0889-8537(05)70208-X.

PELOSI, P., FOTI, G., CEREDA, M., *et al.* "Effects of carbon dioxide insufflation for laparoscopic cholecystectomy on the respiratory system.", **Anaesthesia**, v. 51, n. 8, p. 744–9, ago. 1996. DOI: 10.1111/j.1365-2044.1996.tb07888.x.

PEREIRA, S. M., TUCCI, M. R., MORAIS, C. C. A., *et al.* "Individual Positive End-expiratory Pressure Settings Optimize Intraoperative Mechanical Ventilation and Reduce Postoperative Atelectasis.", **Anesthesiology**, n. X, p. 1–12, 2018. DOI: 10.1097/ALN.0000000000002435.

PIRIYAPATSOM, A., PHETKAMPANG, S. "Effects of intra-operative positive end-expiratory pressure setting guided by oesophageal pressure measurement on oxygenation and respiratory mechanics during laparoscopic gynaecological surgery", **European Journal of Anaesthesiology**, v. 37, n. 11, p. 1032–1039, nov. 2020. DOI: 10.1097/EJA.0000000000001204.

PROVE NETWORK INVESTIGATORS FOR THE CLINICAL TRIAL NETWORK OF THE EUROPEAN SOCIETY OF ANAESTHESIOLOGY, HEMMES, S. N. T., GAMA DE ABREU, M., *et al.* "High versus low positive end-expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): a multicentre randomised controlled trial.", **Lancet (London, England)**, v. 384, n. 9942, p. 495–503, 9 ago. 2014. DOI: 10.1016/S0140-6736(14)60416-5.

RANIERI, V. M., RUBENFELD, G. D., THOMPSON, B. T., *et al.* "Acute respiratory distress syndrome: The Berlin definition", **JAMA - Journal of the American Medical Association**, v. 307, n. 23, p. 2526–2533, 2012. DOI: 10.1001/jama.2012.5669.

RUSZKAI, Z., KISS, E., LÁSZLÓ, I., *et al.* "Effects of intraoperative positive end-expiratory pressure optimization on respiratory mechanics and the inflammatory response: a randomized controlled trial", **Journal of Clinical Monitoring and Computing**, v. 35, n. 3, p. 469–482, 9 maio 2021. DOI: 10.1007/s10877-020-00519-6.

SANTOS, R. S., MORAES, L., SAMARY, C. S., *et al.* "Fast versus slow recruitment maneuver at different degrees of acute lung inflammation induced by experimental sepsis", **Anesthesia and Analgesia**, v. 122, n. 4, p. 1089–1100, 2016. DOI: 10.1213/ANE.0000000000001173.

SCHAEFER, M. S., SERPA NETO, A., PELOSI, P., *et al.* "Temporal Changes in Ventilator Settings in Patients With Uninjured Lungs: A Systematic Review.", **Anesthesia and analgesia**, v. 129, n. 1, p. 129–140, 2019. DOI: 10.1213/ANE.0000000000003758.

SERPA NETO, A., CARDOSO, S. O., MANETTA, J. A., *et al.* "Association Between Use of Lung-Protective Ventilation With Lower Tidal Volumes and Clinical Outcomes Among Patients Without Acute Respiratory Distress Syndrome", **JAMA**, v. 308, n. 16, p. 1651, 24 out. 2012. DOI: 10.1001/jama.2012.13730.

SERPA NETO, A., HEMMES, S. N. T., BARBAS, C. S. V., *et al.* "Protective versus Conventional Ventilation for Surgery: A Systematic Review and Individual Patient Data Meta-analysis.", **Anesthesiology**, v. 123, n. 1, p. 66–78, jul. 2015. DOI: 10.1097/ALN.0000000000000706.

SEVERGNINI, P., SELMO, G., LANZA, C., *et al.* "Protective mechanical ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery improves postoperative pulmonary function.", **Anesthesiology**, v. 118, n. 6, p. 1307–21, 2013. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31829102de.

SILVA, P. L., NEGRINI, D., ROCCO, P. R. M. "Mechanisms of ventilator-induced lung injury in healthy lungs.", **Best practice & research. Clinical anaesthesiology**, v. 29, n. 3, p. 301–13, set. 2015. DOI: 10.1016/j.bpa.2015.08.004.

SIMON, P., GIRRBACH, F., PETROFF, D., *et al.* "Individualized versus Fixed Positive End-expiratory Pressure for Intraoperative Mechanical Ventilation in Obese Patients: A Secondary Analysis", **Anesthesiology**, v. 134, n. 6, p. 887–900, 1 jun. 2021. DOI: 10.1097/ALN.0000000000003762.

SLUTSKY, A. S., RANIERI, V. M. "Ventilator-Induced Lung Injury", **New England Journal of Medicine**, v. 369, n. 22, p. 2126–2136, 28 nov. 2013. DOI: 10.1056/NEJMra1208707.

SOARES, J. H. N., CARVALHO, A. R., BERGAMINI, B. C., *et al.* "Alveolar Tidal recruitment/derecruitment and Overdistension During Four Levels of End-Expiratory Pressure with Protective Tidal Volume During Anesthesia in a Murine Lung-Healthy Model.", **Lung**, v. 0, n. 0, p. 0, 12 fev. 2018. DOI: 10.1007/s00408-018-0096-8.

THOMPSON, J. S. "Temporal Patterns of Postoperative Complications", **Archives of Surgery**, v. 138, n. 6, p. 596, 1 jun. 2003. DOI: 10.1001/archsurg.138.6.596.

VALENZA, F., CHEVALLARD, G., FOSSALI, T., *et al.* "Management of mechanical ventilation during laparoscopic surgery", **Best Practice and Research: Clinical Anaesthesiology**, v. 24, n. 2, p. 227–241, 2010. DOI: 10.1016/j.bpa.2010.02.002.

WEISER, T. G., REGENBOGEN, S. E., THOMPSON, K. D., *et al.* "An estimation of the global volume of surgery: a modelling strategy based on available data", **The Lancet**, v. 372, n. 9633, p. 139–144, 12 jul. 2008. DOI: 10.1016/S0140-6736(08)60878-8.

XAVIER, T. **Efeitos de uma estratégia ventilatória individualizada na mecânica respiratória e na potência mecânica em pacientes obesos submetidos a cirurgia bariátrica.** 2020. 72 f. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

YOON, H.-K., KIM, B. R., YOON, S., *et al.* "The Effect of Ventilation with Individualized Positive End-Expiratory Pressure on Postoperative Atelectasis in Patients Undergoing Robot-Assisted Radical Prostatectomy: A Randomized Controlled Trial", **Journal of Clinical Medicine**, v. 10, n. 4, p. 850, 19 fev. 2021. DOI: 10.3390/jcm10040850.

Anexo A – Parecer do Comitê de Ética em Pesquisa do HFSE (última página)

HOSPITAL FEDERAL DOS
SERVIDORES DO ESTADO DO
RIO DE JANEIRO/HFSE



Continuação do Parecer: 1.738.051

Assentimento / Justificativa de Ausência	TAutoriz_DivMed.pdf	21:56:32	Duran	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TAutoriz_Urologia.pdf	11/08/2016 21:56:13	Marcelo Sampaio Duran	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TAutoriz_Proctologia.pdf	11/08/2016 21:56:02	Marcelo Sampaio Duran	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TAutoriz_CG.pdf	11/08/2016 21:55:44	Marcelo Sampaio Duran	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TAutoriz_Anestesiologia.pdf	11/08/2016 21:55:20	Marcelo Sampaio Duran	Aceito
TCLE / Termos de Assentimento / Justificativa de Ausência	TCLE_versao1.pdf	11/08/2016 21:48:23	Marcelo Sampaio Duran	Aceito
Projeto Detalhado / Brochura Investigador	Projeto_pesquisa_HFSE_versao1.pdf	11/08/2016 21:47:42	Marcelo Sampaio Duran	Aceito
Orçamento	Declaracao_Orcamentaria.pdf	11/08/2016 21:46:29	Marcelo Sampaio Duran	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

RIO DE JANEIRO, 21 de Setembro de 2016

Assinado por:
Marcos Henrique Manzoni
(Coordenador)

Endereço: Rua Sacadura Cabral, nº 178 - 5º andar - Prédio dos Ambulatórios

Bairro: Saúde

CEP: 20.221-903

UF: RJ

Município: RIO DE JANEIRO

Telefone: (21)2291-3131

Fax: (21)2233-9503

E-mail: cep-hse@hse.rj.saude.gov.br

Apêndice A – Termo de consentimento livre e esclarecido

1



**Hospital Federal
dos Servidores do Estado**

**Termo de Consentimento Livre
e Esclarecido**

**Título: Implementação de um Protocolo para
Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao
Final da Expiração
em Pacientes Sob Anestesia Geral**

Justificativa e objetivos

Durante as cirurgias abdominais e pélvicas, é necessário o uso de aparelhos para respirar e estes aparelhos precisam ser ajustados para que o paciente respire da melhor forma possível e para que ele tenha o mínimo de complicações após a cirurgia. Este estudo pretende avaliar qual é a melhor forma para ajustar o aparelho de forma a resultar em maiores benefícios para função pulmonar do paciente.

Proposta do Estudo

Você está sendo convidado a participar deste estudo, para estudar os efeitos pulmonares de um ajuste da respiração com aparelhos mecânicos em pacientes que necessitam de uma cirurgia abdominal. Esse estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos do Hospital Federal dos Servidores do Estado (CEP-HFSE), responsável por avaliar a possibilidade de riscos e danos aos participantes da pesquisa, bem como identificar os benefícios do estudo.

Explicação dos Procedimentos

Para a realização do procedimento, a respiração dos pacientes será controlada com um ventilador mecânico e as medidas da sua respiração gravadas em um computador para realização do estudo. As medidas serão realizadas ao mesmo tempo em que irá ocorrer a cirurgia, período durante o qual os pacientes estarão sendo acompanhados, a todo o momento, pelo médico anestesiológico independentemente do pesquisador que realizará as medidas.

Benefícios

Você não terá benefício direto, mas, este estudo poderá ajudar a entender melhor as alterações pulmonares que ocorrem quando o paciente está na cirurgia respirando pelo ventilador mecânico e, futuramente, contribuir para o desenvolvimento de uma estratégia de ventilação durante a cirurgia tenha um menor risco de prejudicar o pulmão dos pacientes.

Desconfortos e Riscos

De forma alguma, o procedimento provocará dor, sendo também planejado para não provocar riscos adicionais à saúde. Além disso, o aparelho da respiração pode retornar o controle estabelecido pelo médico que acompanhará o procedimento ininterruptamente, caso haja alguma alteração inesperada.

Participação voluntária no estudo

A participação neste estudo é voluntária. Você poderá recusar-se a participar, bem como cancelar sua participação a qualquer momento do estudo. Esta decisão não afetará, de nenhuma maneira, os cuidados médicos oferecidos a você enquanto estiver internado na instituição.

Tratamento Médico em Caso de Danos

A pesquisa não apresenta riscos diretos aos pacientes. Os riscos existentes são aqueles próprios da cirurgia e da anestesia que você irá realizar. Eventualmente, a cirurgia e a anestesia podem apresentar complicações que o HFSE tem toda a infraestrutura necessária para efetuar o tratamento.

Custeio

Não haverá qualquer custo ou forma de pagamento para o paciente pela sua participação nesse estudo.

Confidencialidade

A publicação dos resultados desta pesquisa, em parte ou no seu todo não identificará os pacientes envolvidos, preservando totalmente sua identidade, garantindo o sigilo, anonimato e confidencialidade dos seus dados.

Em caso de dúvidas

Em caso de dúvidas sobre o estudo, por favor, entre em contato com o Dr. Marcelo Sampaio Duran, no telefone (21) 98151-7689, no email duran.ms@gmail.com ou se preferir com o CEP-HFSE. Este se encontra na Rua Sacadura Cabral, 178, Prédio dos Ambulatórios, 5º andar - Centro de Estudos – Centro – Rio de Janeiro – CEP:26530-060 - Telefone: (21) 2291-3131, Ramal: 3544.

Consentimento para a participação no estudo

A sua assinatura significa que você leu este formulário ou que ele foi lido para você, que lhe foram dadas todas as explicações sobre o estudo, que você recebeu respostas para as suas dúvidas, está satisfeito com as informações que lhe foram dadas e concordou com a participação no estudo.

Nome (Paciente)

Assinatura (Paciente)

Data



 Pesquisador: Marcelo Sampaio Duran

Apêndice B – Parâmetros de ventilação mecânica dos aparelhos GE Datex-Ohmeda Aisys CS²

Parâmetro	Ajuste de fábrica	Novo valor inicial
Idade do paciente (anos) *	40	55
Peso ideal do paciente (kg)	70	55
Volume corrente (mL·kg ⁻¹)	8,5	7
Modo ventilatório	PCV-VG	VCV
FR (irpm)	12	14
Tp:Ti (%)	<i>Off</i> ou Desl	20
PEEP (cmH ₂ O)	<i>Off</i> ou Desl (ou ZEEP)	5

PCV-VG: modo ventilação controlada à pressão com volume garantido; VCV: modo ventilação controlada a volume; *Off* ou Desl: desligado (a depender do idioma ajustado no aparelho de anestesia); Tp:Ti: tempo da pausa inspiratória em relação ao tempo inspiratório total; ZEEP: do inglês *zero end-expiratory pressure* ou pressão zero ao final da expiração; *Apesar da idade não ser um parâmetro de ajuste da ventilação mecânica, ela é utilizada para o cálculo da concentração alveolar mínima pelo aparelho de anestesia durante a administração de anestésicos inalatórios.


Apêndice C – POP para ventilação protetora intraoperatória

		Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP)	
Nome do Processo:			
Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral			
Objetivo Estratégico:			
Padronização da ventilação mecânica intraoperatória incorporando manobras de recrutamento pulmonar e ajuste individualizado da pressão positiva ao final da expiração, como parte de um processo multimodal para redução de complicações pulmonares pós-operatórias			
Campo de aplicação:			
Pacientes submetidos à procedimentos cirúrgicos sob anestesia geral atendidos pelo Serviço de Anestesiologia do Hospital Federal dos Servidores do Estado			
Unidade responsável:		Versão:	Número de páginas:
Hospital Federal dos Servidores do Estado		1	1/8

Sumário

I. Palavras-chave	2
II. Dicionário de termos e siglas	2
III. Documentos de referência	3
IV. Formulários usados no processo	4
V. Parâmetros para medição do desempenho do processo	5
VI. Procedimentos	5
VII. Condições de biossegurança	6
VIII. Fluxograma	7
IX. Controle das alterações	8
X. Controle de aprovações para uso	8

Elaborado por:	Aprovado por:	Data aprovação:
Marcelo Sampaio Duran	Daniel Vieira de Queiroz	08/12/2021

		Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP)	
Nome do Processo:			
Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral			
Unidade responsável:		Versão:	Número de páginas:
Hospital Federal dos Servidores do Estado		1	2/8


I. Palavras-chave

anestesia geral, ventilação mecânica protetora, pressão positiva ao final da expiração, complacência do sistema respiratório, complicações pulmonares pós-operatórias, lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica.

II. Dicionário de termos e siglas

Termo/Sigla	Significado
Csr	complacência estática do sistema respiratório, em mL.cmH ₂ O ⁻¹
DP	pressão motriz estática (do inglês, <i>Driving Pressure</i>), em cmH ₂ O
ETCO ₂	Fração expirada de CO ₂ , em mmHg
FiO ₂	fração inspirada de oxigênio, em %
FR	frequência respiratória
HFSE	Hospital Federal dos Servidores do Estado
I:E	Relação entre os tempos inspiratório e expiratório
irpm	incursões respiratórias por minuto
MET	equivalente metabólico da tarefa (do inglês, <i>Metabolic Equivalent of Task</i>)
PEEP	pressão positiva ao final da expiração (do inglês, <i>Positive End-Expiratory Pressure</i>), em cmH ₂ O
Ppl	pressão de platô (ou pressão quasi-estática), em cmH ₂ O
SpO ₂	saturação periférica de oxigênio (medida por oximetria de pulso), em %
Tp:Ti	tempo da pausa inspiratória em relação ao tempo inspiratório total, em %
VC	volume corrente, em mL
VCV	ventilação controlada a volume (do inglês, <i>Volume-Controlled Ventilation</i>)


Elaborado por:	Aprovado por:	Data aprovação:
Marcelo Sampaio Duran	Daniel Vieira de Queiroz	08/12/2021

		<p style="text-align: center;">Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP)</p>	
Nome do Processo:			
Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral			
Unidade responsável:		Versão:	Número de páginas:
Hospital Federal dos Servidores do Estado		1	3/8

III. Documentos de referência

Referência	Descrição
HEDENSTIERNA, G., EDMARK, L. Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology, v. 24, n. 2, p. 157–169, jun. 2010. DOI: 10.1016/j.bpa.2009.12.002.	Efeitos da anestesia geral sobre o aparelho respiratório, com ênfase na fisiopatologia das atelectasias.
SEVERGNINI, P., SELMO, G., LANZA, C., et al., Anesthesiology, v. 118, n. 6, p. 1307–21, 2013. DOI: 10.1097/ALN.0b013e31829102de.	Estudo randomizado que observou que uma estratégia de ventilação protetora intraoperatória melhorou a função respiratória e escore de infecção pulmonar em pacientes submetidos a cirurgias abdominais.
FUTIER, E., CONSTANTIN, J.-M., PAUGAM-BURTZ, C., et al., The New England journal of medicine, v. 369, n. 5, p. 428–37, 1 ago. 2013. DOI: 10.1056/NEJMoa1301082. .	Estudo multicêntrico, randomizado, duplo-cego, que observou que uma estratégia de ventilação mecânica protetora intraoperatória reduziu a incidência de complicações pulmonares pós-operatórias em pacientes submetidos a cirurgias abdominais.
LADHA, K., MELO, M., et al., BMJ, v.351, n. 8018, p. h3646-54, 14 jul. 2015. DOI:10.1136/bmj.h.3646.	Estudo com mais de 60 mil pacientes que destacou o papel dos parâmetros ventilatórios e da mecânica respiratória como fatores de risco para o desenvolvimento das complicações pulmonares pós-operatórias.
GATTINONI, L., CARLESSO, E., CRESSONI, M., Current Opinion in Critical Care, v. 21, n. 1, p. 50–57, 2015. DOI: 10.1097/MCC.000000000000166.	Revisão dos diferentes métodos de ajuste da PEEP nos períodos intra- e pós-operatório.
DESIGNATION-INVESTIGATORS., Trials, v. 21, n. 1, p. 198, 18 fev. 2020. DOI: 10.1186/s13063-020-4075-z.	Estudo multicêntrico, randomizado, duplo-cego, ainda em andamento, que avaliará os efeitos de uma estratégia ventilatória intraoperatória com ajuste individualizado da PEEP pela DP sobre incidência de complicações pulmonares pós-operatórias. O protocolo de ajuste da PEEP utilizado nesse estudo é bastante semelhante ao utilizado nesse POP.

Elaborado por:	Aprovado por:	Data aprovação:
Marcelo Sampaio Duran	Daniel Vieira de Queiroz	08/12/2021

 UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP)	
Nome do Processo:		
Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral		
Unidade responsável:	Versão:	Número de páginas:
Hospital Federal dos Servidores do Estado	1	4/8

IV. Formulários usados no processo



**Hospital Federal
dos Servidores do Estado**

Protocolo de Ventilação Protetora
Intraoperatória
Versão 1 - 2021


Aplicabilidade: pacientes com mais de 18 anos de idade, de ambos os sexos, agendados para cirurgias realizadas sob anestesia geral com ventilação mecânica controlada com pressão positiva com intubação traqueal.

Aplicabilidade sob cautela a critério do anestesiologista: presença de doenças pulmonar ou cardiovascular significativas, definidas como qualquer condição que limite a tolerância a exercícios com menos que 4 METs.

Exclusão: gravidez confirmada ou suspeita.

Ajustes ventilatórios basais	Ventilação controlada a volume (VCV) com onda de fluxo quadrada $VC = 7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ com ajuste tolerado entre $6-8 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ (peso predito) $I:E = 1:2$ e ajustada à fisiologia do paciente, se necessário $T_p:T_i = 20-30\%$ $FR = 14 \text{ irpm}$, titulada para manter $ETCO_2 = 30-40 \text{ mmHg}$ $PEEP = 5 \text{ cmH}_2\text{O}$ Menor FiO_2 para manter $SpO_2 \geq 92\%$
Quando realizar a titulação	1. Após a intubação traqueal e estabilização dos sinais vitais; 2. Após qualquer intervenção associada à mudança significativa da mecânica respiratória (p.ex. colocação de afastadores cirúrgicos, início/fim do pneumoperitônio, desconexão do tubo traqueal, aspiração traqueal, mudanças de decúbito etc.); 3. Se a complacência estática pulmonar for reduzida em $\geq 20\%$.
Atenção durante os procedimentos	1. Certificar-se que o paciente se encontra passivo (i.e. sem atividade ventilatória espontânea) e que volemia e hemodinâmica estejam adequadas; 2. Interromper a manobra caso o paciente apresente instabilidade cardiovascular ou hipoxemia refratárias.
Manobra de recrutamento inicial	1. Começando com a última PEEP ajustada, aumentar a PEEP em etapas de $5 \text{ cmH}_2\text{O}$, por pelo menos 30 s, até $Pplat = 30-35 \text{ cmH}_2\text{O}$ (p.ex. $PEEP = 5, 10, 15$ e $20 \text{ cmH}_2\text{O}$). Se houver preocupação quanto à instabilidade cardiopulmonar na última etapa, esta pode ser reduzida para $2-3 \text{ cmH}_2\text{O}$, almejando a faixa alvo de $Pplat = 30-35 \text{ cmH}_2\text{O}$; 2. Corrigir alterações hemodinâmicas, caso elas ocorram, antes de avançar para uma etapa de PEEP mais alta, e reduzir a PEEP, se necessário, para priorizar o manejo hemodinâmico antes de continuar; 3. Esta manobra de recrutamento poderá ser realizada antes da tentativa de ventilação espontânea que precede a extubação.
Titulação decremental da PEEP	Reduzir progressivamente a PEEP em $3 \text{ cmH}_2\text{O}$ em etapas de 45-75 s até que uma queda da Csr seja observada. A PEEP de máxima Csr é a PEEP da etapa anterior.
Manobra de recrutamento final	Ajustar a PEEP no maior valor de PEEP atingido durante a manobra de recrutamento inicial, durante 30 s.
Ajuste da PEEP na máxima Csr	Continuar a ventilação intraoperatória na PEEP de máxima Csr obtida na manobra de titulação decremental.

Elaborado por:	Aprovado por:	Data aprovação:
Marcelo Sampaio Duran	Daniel Vieira de Queiroz	08/12/2021

 UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP)	
Nome do Processo: Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral		
Unidade responsável: Hospital Federal dos Servidores do Estado	Versão: 1	Número de páginas: 5/8


V. Parâmetros para medição do desempenho do processo

1. Medidas de mecânica respiratória (Csr e DP) ao longo do procedimento anestésico-cirúrgico;
2. Incidência de complicações intraoperatórias decorrentes do ajuste de PEEP (hipoxemia, broncoespasmo, pneumotórax, hipotensão, necessidade de medicamentos vasoativos, arritmia);
3. Variação entre os valores da SpO₂ medida antes e após o procedimento anestésico-cirúrgico, em pontos percentuais;
4. SpO₂ no momento da alta do paciente da sala de cirurgia;
5. Métricas do módulo *Lung-Protective Ventilation* do sistema *Carestation™ Insights Analytics* (quando disponível).

VI. Procedimentos

1. Paciente agendado para procedimento cirúrgico realizado sob anestesia geral e ventilação mecânica;
2. Realizar a programação inicial do aparelho de anestesia com os parâmetros ventilatórios adequados para idade e peso predito do paciente (formulário 1 – seção “Ajustes ventilatórios basais”);
3. Após indução da anestesia geral e controle da via aérea, iniciar a ventilação mecânica com os parâmetros previamente programados, realizando ajustes se necessário;
4. Se o paciente não satisfaz critérios de aplicabilidade do protocolo de ventilação protetora intraoperatória, conduzir a ventilação mecânica intraoperatória com os parâmetros basais de ventilação até o final do procedimento anestésico-cirúrgico e prosseguir para etapa 8;
5. Durante o acompanhamento do procedimento anestésico-cirúrgico, identificar os eventos relacionados à necessidade de recrutamento pulmonar e titulação da PEEP na máxima Csr (formulário 1 – seção “Quando realizar a titulação”);

Elaborado por:	Aprovado por:	Data aprovação:
Marcelo Sampaio Duran	Daniel Vieira de Queiroz	08/12/2021


 UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP)	
Nome do Processo:		
Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral		
Unidade responsável:	Versão:	Número de páginas:
Hospital Federal dos Servidores do Estado	1	6/8

6. Em cada evento:
 - a. Assegurar que o paciente esteja passivo e com hemodinâmica estável (formulário 1 – seção “Atenção durante os procedimentos”);
 - b. Realizar a manobra de recrutamento pulmonar (formulário 1 – seção “Manobra de recrutamento inicial”);
 - c. Realizar a manobra de titulação decremental da PEEP e identificar a PEEP que confere a máxima Csr (formulário 1 – seção “Titulação decremental da PEEP”);
 - d. Realizar nova manobra de recrutamento pulmonar na maior PEEP atingida na etapa 6b (formulário 1 – seção “Manobra de recrutamento final”);
 - e. Ajustar a PEEP no valor obtido durante a titulação da etapa 6c;
7. Continuar a vigilância do procedimento anestésico-cirúrgico e retornar periodicamente à etapa 5 até o final da cirurgia;
8. Interromper a ventilação mecânica quando o paciente apresentar critérios de extubação traqueal após interrupção da anestesia geral.

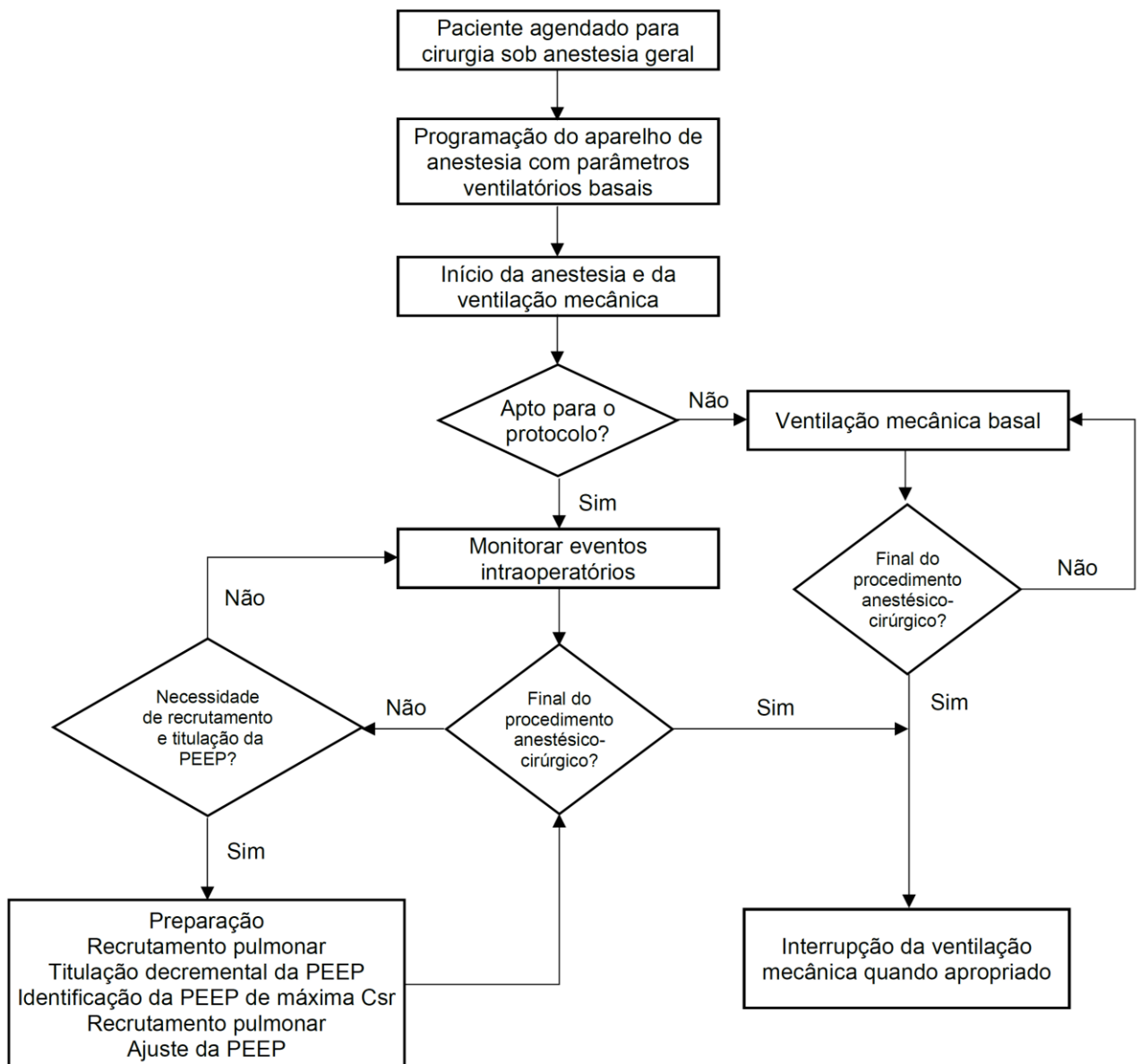
VII. Condições de biossegurança

A aplicação do protocolo não acarreta riscos químicos, biológicos, mecânicos, físicos ou ergonômicos adicionais àqueles já presentes do centro cirúrgico.


Elaborado por:	Aprovado por:	Data aprovação:
Marcelo Sampaio Duran	Daniel Vieira de Queiroz	08/12/2021

 <div style="text-align: center;"> Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP) </div>		
Nome do Processo: Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral		
Unidade responsável: Hospital Federal dos Servidores do Estado	Versão: 1	Número de páginas: 7/8

VIII. Fluxograma



Elaborado por: Marcelo Sampaio Duran	Aprovado por: Daniel Vieira de Queiroz	Data aprovação: 08/12/2021
--	--	--------------------------------------

 UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro Procedimento Operacional Padrão (POP)	
Nome do Processo:		
Protocolo de Ventilação Mecânica Protetora Intraoperatória com Ajuste Individualizado da Pressão Positiva ao Final da Expiração em Pacientes Sob Anestesia Geral		
Unidade responsável:	Versão:	Número de páginas:
Hospital Federal dos Servidores do Estado	1	8/8

IX. Controle das alterações

Nº da versão	Data	Tipo de alteração	Itens revisados	Responsável pela revisão
1	08/12/2021	Elaboração inicial	Todos os itens	Marcelo Sampaio Duran

X. Controle de aprovações para uso

Data da aprovação	Nome do responsável pela aprovação	Unidade/subunidade aprovadora:
08/12/2021	Daniel Vieira de Queiroz	HFSE/Serviço de Anestesiologia

Elaborado por:	Aprovado por:	Data aprovação:
Marcelo Sampaio Duran	Daniel Vieira de Queiroz	08/12/2021

Apêndice D – Protocolo de ventilação protetora intraoperatória



Hospital Federal
dos Servidores do Estado

Protocolo de Ventilação Protetora
Intraoperatória
Versão 1 - 2021

Aplicabilidade: pacientes com mais de 18 anos de idade, de ambos os sexos, agendados para cirurgias realizadas sob anestesia geral com ventilação mecânica controlada com pressão positiva com intubação traqueal.

Aplicabilidade sob cautela a critério do anestesiologista: presença de doenças pulmonar ou cardiovascular significativas, definidas como qualquer condição que limite a tolerância a exercícios com menos que 4 METs.

Exclusão: gravidez confirmada ou suspeita.

Ajustes ventilatórios basais	Ventilação controlada a volume (VCV) com onda de fluxo quadrada VC = 7 mL·kg ⁻¹ com ajuste tolerado entre 6-8 mL·kg ⁻¹ (peso predito) I:E = 1:2 e ajustada à fisiologia do paciente, se necessário T _p :T _i = 20-30% FR = 14 irpm, titulada para manter ETCO ₂ = 30-40 mmHg PEEP = 5 cmH ₂ O Menor FiO ₂ para manter SpO ₂ ≥ 92%
Quando realizar a titulação	1. Após a intubação traqueal e estabilização dos sinais vitais; 2. Após qualquer intervenção associada à mudança significativa da mecânica respiratória (p.ex. colocação de afastadores cirúrgicos, início/fim do pneumoperitônio, desconexão do tubo traqueal, aspiração traqueal, mudanças de decúbito etc.); 3. Se a complacência estática pulmonar for reduzida em ≥ 20%.
Atenção durante os procedimentos	1. Certificar-se que o paciente se encontra passivo (i.e. sem atividade ventilatória espontânea) e que volemia e hemodinâmica estejam adequadas; 2. Interromper a manobra caso o paciente apresente instabilidade cardiovascular ou hipoxemia refratárias.
Manobra de recrutamento inicial	1. Começando com a última PEEP ajustada, aumentar a PEEP em etapas de 5 cmH ₂ O, por pelo menos 30 s, até Pplat = 30-35 cmH ₂ O (p.ex. PEEP = 5, 10, 15 e 20 cmH ₂ O). Se houver preocupação quanto à instabilidade cardiopulmonar na última etapa, esta pode ser reduzida para 2-3 cm H ₂ O, almejando a faixa alvo de Pplat = 30-35 cmH ₂ O; 2. Corrigir alterações hemodinâmicas, caso elas ocorram, antes de avançar para uma etapa de PEEP mais alta, e reduzir a PEEP, se necessário, para priorizar o manejo hemodinâmico antes de continuar; 3. Esta manobra de recrutamento poderá ser realizada antes da tentativa de ventilação espontânea que precede a extubação.
Titulação decremental da PEEP	Reduzir progressivamente a PEEP em 3 cmH ₂ O em etapas de 45-75 s até que uma queda da Csr seja observada. A PEEP de máxima Csr é a PEEP da etapa anterior.
Manobra de recrutamento final	Ajustar a PEEP no maior valor de PEEP atingido durante a manobra de recrutamento inicial, durante 30 s.
Ajuste da PEEP na máxima Csr	Continuar a ventilação intraoperatória na PEEP de máxima Csr obtida na manobra de titulação decremental.