



REVISTA BRASILEIRA DE ANESTESIOLOGIA

Publicação Oficial da Sociedade Brasileira de Anestesiologia
www.sba.com.br



ARTIGO CIENTÍFICO

Comparação entre ventilação garantida por volume controlado por pressão e ventilação controlada por volume em pacientes obesos durante cirurgia laparoscópica ginecológica na posição de Trendelenburg



Melike Korkmaz Toker  ^{a,*}, Basak Altıparmak ^b, Ali İhsan Uysal ^a e Semra Gumus Demirbilek ^b

^a Mugla Sıtkı Kocman University, Research and Training Hospital, Department of Anesthesiology and Reanimation, Mugla, Turquia

^b Mugla Sıtkı Kocman University, Department of Anesthesiology and Reanimation, Mugla, Turquia

Recebido em 8 de janeiro de 2019; aceito em 9 de setembro de 2019

Disponível na Internet em 10 de dezembro de 2019

PALAVRAS-CHAVE

Laparoscopia;
Obesidade;
Ventilação mecânica;
Complacência pulmonar;
Anestesia geral

Resumo

Justificativa e objetivos: O objetivo deste estudo foi investigar a eficácia dos modos de ventilação garantida por volume controlado por pressão (PCV-VG) e ventilação controlada por volume (VCV) para manter pressões adequadas nas vias aéreas, complacência pulmonar e oxigenação em pacientes obesos submetidos à histerectomia laparoscópica na posição de Trendelenburg.

Métodos: Cento e quatro pacientes submetidos à cirurgia ginecológica laparoscópica, com índice de massa corporal entre 30 e 40 kg.m⁻², foram randomizados para receber ventilação com VCV ou PCV-VG. O volume corrente foi fixado em 8 mL.kg⁻¹, com uma concentração inspirada de oxigênio de 0,4 e pressão positiva expiratória final (PEEP) de 5 mmHg. Registramos os seguintes parâmetros: pressão de pico inspiratório, pressão inspiratória média, pressão de platô, *driving pressure*, complacência dinâmica, frequência respiratória, volume corrente expirado, etCO₂, gasometria arterial, frequência cardíaca e pressão arterial média aos 5, 30 e 60 minutos, respectivamente, após o pneumoperitônio na posição de Trendelenburg.

Resultados: O grupo PCV-VG apresentou uma redução significativa da pressão de pico inspiratório, pressão inspiratória média, pressão de platô, *driving pressure* e aumento da complacência dinâmica comparado ao grupo VCV. Os níveis médios de PaO₂ foram significativamente maiores no grupo PCV-VG do que no grupo VCV em todos os momentos após o pneumoperitônio na posição de Trendelenburg.

* Autor para correspondência.

E-mail: meltoker@gmail.com (M.K. Toker).

KEYWORDS

Laparoscopy;
Obesity;
Mechanical
ventilation;
Lung compliance;
General anesthesia

Conclusões: O modo de ventilação PCV-VG limitou a pressão de pico inspiratório, diminuiu a *driving pressure* e aumentou a complacência dinâmica, comparado ao VCV em pacientes obesas submetidas à histerectomia laparoscópica. O PCV-VG pode ser uma modalidade preferida para prevenir o barotrauma durante cirurgias laparoscópicas em pacientes obesos.

© 2019 Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Comparison of pressure-controlled volume-guaranteed ventilation and volume-controlled ventilation in obese patients during gynecologic laparoscopic surgery in the Trendelenburg position

Abstract

Background and objectives: The aim of this study was to investigate the efficacy of the pressure-controlled, volume-guaranteed (PCV-VG) and volume-controlled ventilation (VCV) modes for maintaining adequate airway pressures, lung compliance and oxygenation in obese patients undergoing laparoscopic hysterectomy in the Trendelenburg position.

Methods: Patients (104) who underwent laparoscopic gynecologic surgery with a body mass index between 30 and 40 kg.m⁻² were randomized to receive either VCV or PCV-VG ventilation. The tidal volume was set at 8 mL.kg⁻¹, with an inspired oxygen concentration of 0.4 with a Positive End-Expiratory Pressure (PEEP) of 5 mmHg. The peak inspiratory pressure, mean inspiratory pressure, plateau pressure, driving pressure, dynamic compliance, respiratory rate, exhaled tidal volume, etCO₂, arterial blood gas analysis, heart rate and mean arterial pressure at 5 minutes after induction of anesthesia in the and at 5, 30 and 60 minutes, respectively, after pneumoperitoneum in the Trendelenburg position were recorded.

Results: The PCV-VG group had significantly decreased peak inspiratory pressure, mean inspiratory pressure, plateau pressure, driving pressure and increased dynamic compliance compared to the VCV group. Mean PaO₂ levels were significantly higher in the PCV-VG group than in the VCV group at every time point after pneumoperitoneum in the Trendelenburg position.

Conclusions: The PCV-VG mode of ventilation limited the peak inspiratory pressure, decreased the driving pressure and increased the dynamic compliance compared to VCV in obese patients undergoing laparoscopic hysterectomy. PCV-VG may be a preferable modality to prevent barotrauma during laparoscopic surgeries in obese patients.

© 2019 Sociedade Brasileira de Anestesiologia. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introdução

Desde a aprovação da cirurgia laparoscópica para procedimentos ginecológicos benignos e malignos na década de 1990, o número de pacientes submetidos a histerectomias laparoscópicas aumentou.¹ Porém, essas operações são feitas na posição de Trendelenburg junto com pneumoperitônio com uso de CO₂, o que é um desafio para os anestesiológicos. O pneumoperitônio resulta em intensa pressão intra-abdominal e na absorção sistêmica de CO₂.² A absorção de CO₂ pode resultar em hipercapnia e acidose devido à ventilação prejudicada.

A obesidade, definida como um "índice de massa corporal (IMC) > 30 kg.m⁻²",³ é caracterizada pelo aumento da resistência das vias aéreas, respiração difícil e complacência do sistema respiratório.⁴ Em pacientes cirúrgicos obesos, várias técnicas, como aplicações de pressão positiva expiratória final (*Positive End-Expiratory Pressure* – PEEP) extrínseca, manobras de recrutamento, incrementos da frequência respiratória e posicionamento adequado do

paciente para aprimorar a ventilação intraoperatória, foram propostas.⁵ Em uma metanálise, Aldenkortt et al. avaliaram estratégias de ventilação mecânica em pacientes cirúrgicos obesos e descobriram que não houve evidência de diferença entre ventilação controlada por pressão e ventilação controlada por volume nos pacientes obesos.⁶

O modo de ventilação preferido para anestesia geral é a ventilação controlada por volume (VCV). Esse modo de ventilação, que usa um fluxo consistente para fornecer o volume corrente (*Tidal Volume* – TV) desejado e garantir a ventilação-minuto, pode resultar em alta pressão das vias aéreas em cirurgia laparoscópica.⁷

Uma nova modalidade de ventilação, a ventilação controlada por pressão com volume garantido (*Pressure-Controlled Ventilation with Volume-Guaranteed* – PCV-VG), foi introduzida no campo da anestesiologia. No modo PCV-VG, o ventilador regula a pressão inspiratória de pico (PIP) para obter um TV ideal.⁸ Para atingir o volume-alvo, os parâmetros do ventilador são alterados regularmente sem ajustar a pressão das vias aéreas. Portanto, a PCV-VG tem as

vantagens da VCV e da PCV para preservar a ventilação minuto-alvo, enquanto mantêm uma baixa incidência de barotraumas.⁹ A aplicação de ventilação controlada por pressão com volume garantido também inclui a ventilação monopulmonar em cirurgia torácica.

O objetivo deste estudo foi comparar a eficácia da VCV e da PCV-VG para manter a pressão adequada das vias aéreas em pacientes obesas submetidas à histerectomia laparoscópica na posição de Trendelenburg. O objetivo secundário do estudo foi investigar se a PCV-VG poderia melhorar a oxigenação comparada à VCV nessa população de pacientes.

Material e métodos

Após obter a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa, o projeto do estudo foi estipulado como prospectivo comparativo, randômico e controlado e feito em hospital universitário afiliado. O estudo foi registrado no Australian New Zealand Clinical Trials Registry (ACTRN12618000663257). Após obter as assinaturas em termos de consentimento livre e esclarecido das participantes, as pacientes submetidas à histerectomia laparoscópica foram consideradas para o estudo. As pacientes com estado físico II ou III (de acordo com a classificação da *American Society of Anesthesiologists* – ASA), IMC entre 30 e 40 kg.m⁻² e que receberam pelo menos uma hora de pneumoperitônio na posição de Trendelenburg foram incluídas no estudo. Os critérios de exclusão foram possíveis vias aéreas difíceis, patologia intracraniana e doença pulmonar obstrutiva grave com volume expiratório forçado em 1 s (*Forced Expiratory Volume in 1 second* – VEF1) abaixo de 70%.

Após a chegada das pacientes incluídas no estudo à sala de cirurgia, os procedimentos-padrão de monitoração foram aplicados de acordo com as diretrizes da ASA. Todas as pacientes receberam um regime anestésico intravenoso padrão que incluiu remifentanil (0,5–1 µg.kg⁻¹.min⁻¹), propofol (em titulações de 1–2 mg.kg⁻¹) e brometo de rocuroônio (0,6 mg.kg⁻¹) durante a anestesia. Após a indução da anestesia geral, um cateter arterial (20G) foi aplicado à artéria radial da mão não dominante para coleta de sangue e monitoração contínua da pressão arterial. A anestesia foi mantida com desflurano em concentração alveolar mínima de 1% com fração inspirada de oxigênio inspirado de 0,4 e uma mistura de ar de 0,6 para manter um índice bispectral de 40–60 durante todas as operações. Com o uso de envelopes lacrados em ordem randômica, cada paciente foi designada para um dos dois grupos de modos de ventilação (PCV-VG ou VCV) no mesmo aparelho de anestesia (Datex Ohmeda Avance CS2; GE Healthcare, Helsinque, Finlândia). Para os dois modos de ventilação, o volume corrente aplicado a todas as pacientes foi fixado em 8 mL.kg⁻¹ calculado com base no peso corporal previsto, concentração inspirada de oxigênio de 0,4 com o ar, razão inspiratória/expiratória de 1:2, frequência respiratória ajustada para manter uma pressão expiratória final de CO₂ (etCO₂) de 35–40 mmHg e PEEP padrão de 5 mmHg. A pressão intraperitoneal foi ajustada para 14 mmHg após o pneumoperitônio e a posição de Trendelenburg a 30° foi implantada. A coleta de dados foi feita nos seguintes tempos de mensuração:

- Tempo 1 (T1): 5 minutos após a indução da anestesia em supinação e antes do início do pneumoperitônio;
- Tempo 2 (T2): 5 minutos após a insuflação completa de CO₂ enquanto na posição de Trendelenburg;
- Tempo 3 (T3): 30 minutos após o início do pneumoperitônio enquanto na posição de Trendelenburg;
- Tempo 4 (T4): 60 minutos após o início do pneumoperitônio enquanto na posição de Trendelenburg.

Os parâmetros ventilatórios, como a pressão inspiratória de pico (PIP), pressão inspiratória média (Pmédia), pressão de platô (Pplatô), complacência dinâmica, frequência respiratória (FR), volume corrente expirado (Tve) e etCO₂ foram registrados em todos os tempos. A *driving pressure* foi calculada como a diferença entre a pressão de platô e a PEEP. Além disso, as análises gasométricas arteriais, inclusive pressão arterial parcial de oxigênio (PaO₂), pressão arterial parcial de dióxido de carbono (PaCO₂), pH e saturação de oxigênio (SaO₂) foram registradas em todos os tempos mensurados. A frequência cardíaca (FC) e a pressão arterial média (PAM) também foram registradas em todos os tempos.

Após a conclusão da cirurgia, o paciente foi transferido para a sala de recuperação pós-anestésica.

Para a análise estatística, os programas estatísticos *Number Cruncher Statistical System* (NCSS) 2007 e *Power Analysis and Sample Size* (PASS) 2008 foram usados (Utah, EUA). Os dados descritivos foram expressos em média, desvio-padrão, mediana e intervalo interquartil. Após a avaliação da distribuição com o teste de Shapiro–Wilk, os dados com distribuição normal e anormal foram analisados com o teste *t* independente ou o teste *U* de Mann–Whitney, respectivamente. Um teste de medidas repetidas (análise de variância em medidas repetidas) e um teste de Bonferroni para avaliar as comparações binárias foram usados para avaliar o acompanhamento das variáveis normalmente distribuídas. O teste de Friedman foi usado para avaliar o acompanhamento das variáveis anormalmente distribuídas e o teste de Bonferroni–Dunn para avaliar as comparações binárias; *p* < 0,05 foi considerado estatisticamente significativo.

Estimativa do tamanho da amostra

A estimativa do tamanho da amostra foi calculada com o programa *Power and Sample Size* (PS versão 3.1.2) com base em um estudo-piloto com 10 pacientes em cada grupo. O tamanho da amostra foi baseado nesse estudo piloto, no qual a diferença da PIP média entre os dois modos de ventilação no T2 foi de 5,3 cm H₂O, com desvio-padrão de 6,5 cm H₂O. Foram estimados 47 pacientes em cada grupo com um erro-α de 0,01 e um poder desejado de 90% para detectar uma diferença significativa. Decidimos recrutar 20% a mais de pacientes para chegar a 113 pacientes e compensar possíveis desistências.

Resultados

A análise estatística incluiu 100 pacientes (fig. 1). O recrutamento e a inscrição das pacientes iniciaram em junho de 2018 e duraram até agosto de 2018.

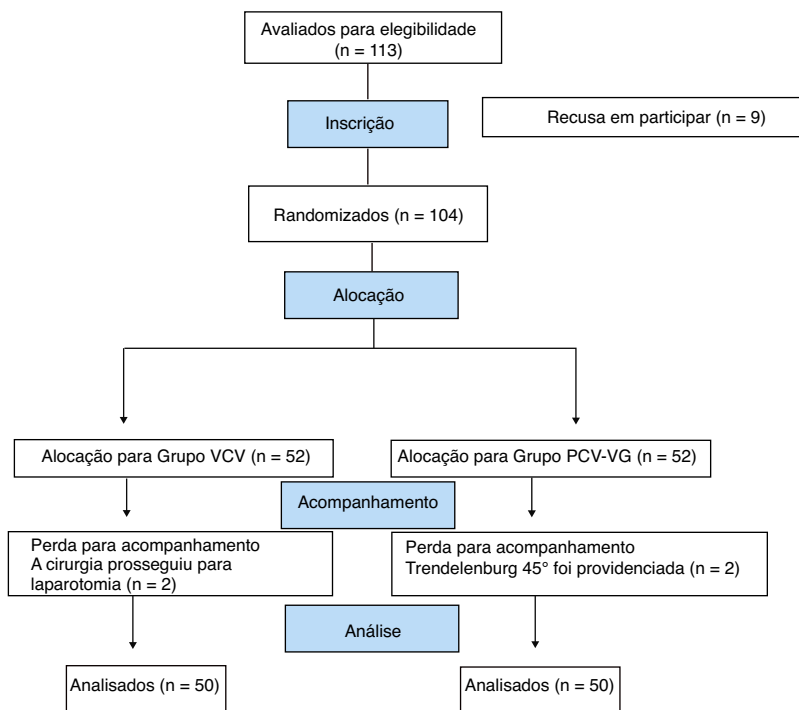


Figura 1 Diagrama Consorte do estudo.

Tabela 1 Características do paciente e função pulmonar pré-operatória

	Grupo VCV (n = 50)	Grupo PCV-VG (n = 50)	^a p
Idade (anos)	50,5 ± 9,4	51 ± 7,7	0,79
IMC (kg.m ⁻²)	32,8 ± 2,07	33,1 ± 3,1	0,63
Estado físico ASA (II/III)	28/22	29/21	
Duração do pneumoperitônio (min)	132,5 ± 33,9	136,6 ± 42,2	0,59
VEF1 pré-operatório (% previsto)	94,3 ± 7,7	93,2 ± 9,8	0,54
CVF pré-operatório (% previsto)	91,9 ± 7,6	91,9 ± 8,4	0,99

Resultados expressos em média ± DP ou em número de pacientes.

ASA, *American Society of Anesthesiologists*; CVF, capacidade vital forçada; IMC, índice de massa corporal; VEF1, volume expiratório forçado no 1º segundo.

^a Teste de Student.

Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos em relação à demografia e duração do pneumoperitônio ou em relação às funções pulmonares pré-operatórias (tabela 1).

A pressão inspiratória de pico aumentou significativamente em T2, T3 e T4 em ambos os grupos, comparado aos valores basais em T1 ($p < 0,01$). As mensurações da PIP em T1 não foram significativamente diferentes nos dois grupos ($p = 0,602$, $p > 0,05$); porém, os valores da PIP no Grupo VCV em T2 ($p = 0,001$) T3 ($p = 0,001$) e T4 ($p = 0,001$) foram significativamente maiores do que os valores no grupo PCV-VG nesses três tempos de mensuração.

Os valores da Pmédia também mostraram um aumento significativo nos dois grupos em T2, T3 e T4 comparados aos valores em T1. Para o grupo PCV-VG, a Pmédia em T1 foi menor do que em T3 ($p = 0,001$) e T4 Pmédia ($p = 0,001$); os valores da Pmédia em T2 também foram menores do que em T3 e T4 ($p < 0,01$) e a Pmédia em T3 foi menor do que em T4

($p = 0,007$). No grupo VCV, o aumento nos valores da Pmédia entre T1 e T4 também foi significativo ($p = 0,001$, $p < 0,01$, respectivamente).

Os valores da Pplatô medidos em T1 nos grupos não foram significativos ($p > 0,05$); no entanto, no Grupo VCV em T2 ($p = 0,001$), T3 ($p = 0,001$) e T4 ($p = 0,001$) os valores da Pplatô foram significativamente maiores do que no Grupo PCV-VG. As alterações dos valores da Pplatô medidos de T1 a T4 foram significativas nos dois grupos. Os valores foram significativamente menores em T1 do que em T2, T3 e T4 nos grupos. Não houve diferença estatisticamente significativa em outras comparações pareadas ($p > 0,05$). Comparado aos valores em T1, a *driving pressure* mostrou aumento significativo após os períodos de pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg nos dois grupos. Os valores da *driving pressure* medidos em T1 não foram significativamente diferentes nos grupos, mas foram significativamente menores no Grupo PCV-VG em T2 ($p = 0,001$), T3 ($p = 0,001$)

e T4 ($p=0,001$) do que no Grupo VCV nesses três tempos de mensuração.

Da mesma forma, a complacência dinâmica diminuiu significativamente em T2, T3 e T4 em ambos os grupos, comparado à complacência em T1; no entanto, a complacência dinâmica foi maior em T2, T3 e T4 no Grupo PCV-VG do que no Grupo VCV ($p < 0,01$). Após o estabelecimento do pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg, a diminuição da complacência dinâmica basal foi menor no modo PCV-VG, com uma redução de 44% no Grupo PCV-VG comparado a 55% no Grupo VCV.

Os efeitos do pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg nos outros parâmetros ventilatórios, como etCO_2 e FR, foram comparáveis. A pressão expiratória final de CO_2 começou a mostrar um aumento significativo em ambos os grupos após o 30° minuto de pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg. Após a primeira hora de pneumoperitônio, o Grupo VCV apresentou etCO_2 significativamente maior do que o Grupo PCV-VG ($p=0,016$). Não houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos para FR em todos os tempos mensurados ($p > 0,05$).

O Grupo PCV-VG apresentou TVe significativamente maior do que o Grupo VCV em todos os tempos, inclusive o período de pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg ($p < 0,05$) (tabela 2).

Os níveis médios de PaO_2 foram significativamente maiores no Grupo PCV-VG do que no Grupo VCV em todos os tempos após pneumoperitônio e posição de Trendelenburg ($p < 0,05$). A oxigenação arterial diminuiu significativamente de T1 para T4 nos dois grupos ($p < 0,05$). Outros valores da gasometria, como PaCO_2 , pH e SaO_2 , não apresentaram diferenças significativas entre os grupos. Nos dois grupos

de estudo, a PaCO_2 aumentou significativamente em T3 e T4, comparado a T1. Para ambos os grupos, os níveis de pH foram comparados em diferentes momentos e uma redução significativa nos níveis de pH foi detectada ao longo do tempo. A saturação de oxigênio medida por oxímetro de pulso diminuiu significativamente em ambos os grupos nos tempos mensurados, inclusive o tempo de pneumoperitônio e posição de Trendelenburg ($p < 0,01$) (tabela 3).

Os parâmetros hemodinâmicos não apresentaram diferenças significativas entre os dois grupos em qualquer tempo de mensuração. A pressão arterial média aumentou significativamente em comparação aos valores basais nos dois grupos ($p < 0,001$), mas o Grupo VCV não apresentou diferença significativa entre T3 e T4. A frequência cardíaca aumentou em ambos os grupos em T2, T3 e T4 comparado aos valores basais ($p < 0,001$), mas permaneceu estável após o 30° minuto de pneumoperitônio no Grupo VCV (tabela 4).

Discussão

Este estudo demonstrou os benefícios do modo PCV-VG comparado ao modo VCV em pacientes obesas submetidas à histerectomia laparoscópica na posição em 30° de Trendelenburg. O uso do modo PCV-VG objetivava neutralizar a PIP mais alta observada com o pneumoperitônio e a posição de Trendelenburg e obtivemos valores mais baixos de PIP, Pméd , Pplatô e Dp , além de maior complacência dinâmica e níveis maiores de oxigenação arterial com esse modo do que com o modo VCV.

As recomendações para o manejo ventilatório de pacientes obesos incluem níveis de PIP abaixo de 30 cmH_2O .⁵ O

Tabela 2 Determinação dos parâmetros de ventilação entre os grupos

		T1	T2	T3	T4
PIP (cm H_2O)	PCV-VG	15,6 ± 2,8	24,6 ± 3,2 ^{a,b}	24 ± 3,2 ^{a,b}	25,04 ± 4,2 ^{a,b}
	VCV	15,9 ± 2,9	29,1 ± 3,4 ^b	28,5 ± 2,7 ^b	29,3 ± 4,2 ^b
Pméd (cm H_2O)	PCV-VG	8,1 ± 0,9	8,4 ± 1,6 ^a	9,3 ± 2,1 ^b	10 ± 1,9 ^{a,b}
	VCV	8,2 ± 1,3	9,5 ± 1,5 ^b	9,9 ± 1,8 ⁼	11,7 ± 1,2 ^b
Pplatô (cm H_2O)	PCV-VG	13,2 ± 2,8	21,9 ± 3,2 ^{a,b}	21,4 ± 3,3 ^{a,b}	22,4 ± 4,4 ^{a,b}
	VCV	13,6 ± 2,9	26,5 ± 3,5 ^b	25,4 ± 2,8 ^b	26,1 ± 4,4 ^b
Dp (cm H_2O)	PCV-VG	8,2 ± 2,8	16,9 ± 3,2 ^{a,b}	16,4 ± 3,2 ^{a,b}	17,3 ± 4,4 ^{a,b}
	VCV	8,6 ± 2,9	21,6 ± 3,6 ^a	20,4 ± 2,8 ^a	21,1 ± 4,4 ^a
Complacência (mL.cm ⁻¹ H_2O)	PCV-VG	42,9 ± 6,1	23,9 ± 3,6 ^{a,b}	22,7 ± 5,4 ^{b,c}	22,6 ± 6,2 ^{a,b}
	VCV	42,6 ± 6,5	18,8 ± 3,8 ^b	20,6 ± 5,1 ^b	17,8 ± 4,4 ^b
FR (respiração.min ⁻¹)	PCV-VG	11,3 ± 1,0	11,5 ± 0,8	12,3 ± 1,3	12,9 ± 2,4
	VCV	11,3 ± 1,0	11,6 ± 1,0	12,4 ± 1,5 ^b	13,6 ± 2,9 ^b
TVe (mL)	PCV-VG	457,3 ± 39,0	470,1 ± 26,3 ^c	469,7 ± 30,1 ^{c,f}	472,3 ± 24,3 ^{c,d}
	VCV	448,9 ± 38,5	451,3 ± 42,6	452,73 ± 39,1	452,3 ± 50,8
etCO_2 (mmHg)	PCV-VG	35,28 ± 2,3	34,90 ± 2,3	37,66 ± 2,1 ^b	37,40 ± 1,9 ^{b,c}
	VCV	35,18 ± 2,0	35,12 ± 2,0	38,40 ± 2,2 ^b	38,5 ± 2,4 ^b

Dados expressos em média ± DP.

Dp , *driving pressure*; etCO_2 , CO_2 expirado; FR, frequência respiratória; PCV-VG, ventilação controlada por pressão com volume garantido; PIP, pressão inspiratória de pico; Pméd , Pressão inspiratória média; Pplatô , pressão de platô; TVe, volume corrente exalado; VCV, ventilação controlada por volume.

^a $p < 0,01$ vs. grupo VCV no mesmo momento.

^b $p < 0,01$ vs. T1 em cada grupo.

^c $p < 0,05$ vs. VCV no mesmo momento.

^d $p < 0,05$ vs. T1 em cada grupo.

Tabela 3 Determinação da gasometria entre os grupos

		T1	T2	T3	T4
PaO ₂ (mmHg)	PCV-VG	180,3 ± 30,3	176,3 ± 23,5 ^a	165,5 ± 20,3 ^{a,b}	165,2 ± 23,5 ^{b,c}
	VCV	180,7 ± 51,5	163,7 ± 24,9	155,9 ± 24,6 ^b	149,4 ± 27 ^b
PaCO ₂ (mmHg)	PCV-VG	36,7 ± 3,1	36,4 ± 3,6	39,4 ± 3,3 ^b	39,9 ± 4 ^b
	VCV	37,2 ± 2,5	36,6 ± 3,2	39,5 ± 4,1 ^b	40,60 ± 5,2 ^b
pH	PCV-VG	7,5 ± 0,1	7,4 ± 0,1 ^b	7,4 ± 0,1 ^b	7,4 ± 0,1 ^b
	VCV	7,4 ± 0,1	7,4 ± 0,1 ^b	7,4 ± 0,6 ^b	7,3 ± 0,1 ^b
SaO ₂	PCV-VG	99,5 ± 0,9	99,5 ± 0,7	99 ± 0,8 ^b	98,7 ± 1,2 ^b
	VCV	99,5 ± 0,6	99,1 ± 1,1	98,7 ± 1,2 ^b	98,7 ± 1,3 ^b

Dados expressos em média ± DP.

PaCO₂, pressão arterial parcial de dióxido de carbono; PaO₂, pressão arterial parcial de oxigênio; PCV-VG, ventilação controlada por pressão com volume garantido; VCV, ventilação controlada por volume.

^a $p < 0,05$ vs. VCV no mesmo momento.

^b $p < 0,01$ vs. T1 em cada grupo.

^c $p < 0,01$ vs. Grupo VCV no mesmo momento.

Tabela 4 Parâmetros hemodinâmicos

		T1	T2	T3	T4
FC	PCV-VG	66,2 ± 2,3	62,2 ± 1,9 ^a	75,7 ± 5,2 ^a	74,2 ± 3,3 ^a
	VCV	66,5 ± 2,4	62,4 ± 2,3 ^a	75,9 ± 2,7 ^a	74,9 ± 3,6 ^a
PAM	PCV-VG	68 ± 2,6	75,3 ± 3,2 ^a	78,6 ± 4,5 ^a	82,7 ± 4 ^a
	VCV	67,7 ± 2,8	75,9 ± 3,1 ^a	79,3 ± 11,5 ^a	83,5 ± 4,5 ^a

Dados expressos em média ± DP.

FC, frequência cardíaca; PAM, pressão arterial média; PCV-VG, ventilação controlada por pressão com volume garantido; VCV, ventilação controlada por volume.

^a $p < 0,01$ versus T1 em cada grupo.

resultado primário deste estudo foi que a PIP foi significativamente menor no modo PCV-VG do que no modo VCV em todos os períodos após o pneumoperitônio e a posição de Trendelenburg, o que pode ser teoricamente explicado pelo modo como a PCV-VG opera. O modo PCV-VG combina os benefícios dos modos de ventilação PCV e VCV, fornece um volume corrente predeterminado com a menor pressão possível e um volume de desaceleração.⁹ A primeira ventilação transferida para o paciente é uma ventilação controlada por volume e a complacência do sistema respiratório do paciente é calculada a partir desse volume ventilatório e o nível da pressão inspiratória é readaptado para atingir o volume corrente desejado predefinido pelo clínico.¹⁰ Em teoria, esse tipo de operação resulta em menor PIP e maior complacência dinâmica do que o modo VCV, com conseqüente declínio do *shunt* pulmonar e melhoria da oxigenação em adultos obesos.

Estudos semelhantes compararam o modo VCV com o modo volume controlado com pressão regulada (*Pressure-Regulated Volume-Controlled* – PRVC), que é o nome comercial da PCV-VG especificamente para ventiladores da marca Maquet,¹⁰ ou o modo PCV-VG em ventilação monopulmonar (*One-Lung Ventilation* – OLV).^{9,11–13} Boules et al.¹³ descobriram que a oxigenação arterial melhorou com o modo PCV-VG durante OLV. No estudo conduzido por Dion et al.¹⁴, ambos os modos PCV-VG e PCV resultaram em PIP menor do que o modo VCV, mas não encontraram diferenças significativas na oxigenação entre os três modos de ventilação durante a cirurgia bariátrica laparoscópica. Nos estudos de

OLV mencionados acima, houve um grande consenso sobre a diminuição dos níveis de PIP com o modo PCV-VG; porém, os resultados sobre a melhoria da oxigenação arterial ainda são debatidos.

De acordo com nossa pesquisa, há apenas dois estudos no campo da cirurgia ginecológica laparoscópica que compararam os efeitos de diferentes modos de ventilação nos parâmetros respiratórios.^{15,16} Ogurlu et al.¹⁵ compararam o modo PCV *versus* o modo VCV e relataram resultados semelhantes aos estudos anteriores em relação à PIP, pressão de platô e maior complacência no modo PCV durante o pneumoperitônio e a posição de Trendelenburg. Esses resultados foram consistentes com os resultados de nosso estudo, pois provavelmente foram associados ao mesmo padrão de desaceleração do fluxo inspiratório tanto da PCV quanto da PCV-VG. A PCV-VG inclui as vantagens da PCV, cuja mais importante é a redução sustentada da PIP devido ao seu perfil de desaceleração do fluxo, conforme discutido em uma metanálise sobre estratégias de ventilação mecânica intraoperatória em OLV.¹⁷ Assad et al. analisaram os efeitos das ventilações PCV-VG e VCV nas pressões das vias aéreas durante cirurgias laparoscópicas na posição de Trendelenburg e mostraram que a PCV-VG foi superior à VCV em sua capacidade de fornecer ventilação com menor PIP e maior complacência dinâmica.¹⁶ Em contraste com o nosso estudo, Assad et al. relataram que a PCV-VG não apresentou vantagem sobre a VCV na melhoria da oxigenação. Os diferentes resultados de oxigenação desses dois estudos podem ser explicados por uma variação na população

de pacientes. No estudo de Assad et al., o índice médio de massa corporal da população foi de $23,4 \text{ kg.m}^{-2}$ no grupo VCV e de $24,5 \text{ kg.m}^{-2}$ no grupo PCV-VG; enquanto em nosso estudo o índice médio de massa corporal foi de $32,8 \text{ kg.m}^{-2}$ no Grupo VCV e de $33,1 \text{ kg.m}^{-2}$ no Grupo PCV-VG. Logo, a população do presente estudo era mais obesa do que a população do estudo conduzido por Assad. Cadi et al. compararam PCV e VCV em obesos mórbidos submetidos à bandagem gástrica laparoscópica e relataram melhoria da oxigenação arterial em favor da PCV.¹⁸ Os autores descreveram seus resultados como um aumento da oxigenação devido ao perfil instantâneo de aceleração do fluxo do modo controlado por pressão. Davis et al. avaliaram o modo PCV-VG na síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) e, em concordância com nossos resultados, descobriram que a PCV-VG pode melhorar a oxigenação comparada à VCV em pacientes com SDRA.¹⁹ Em uma recente metanálise, Aldenkortt et al. avaliaram 13 ensaios que incluíram 505 pacientes cirúrgicos obesos e várias estratégias de ventilação em adultos obesos.⁶ Essa metanálise examinou atentamente quatro ensaios que incluíram 100 pacientes e compararam PCV com VCV. Os autores concluíram que não houve superioridade dos modos VCV ou PCV para melhorar a oxigenação ou ventilação em pacientes obesos. No entanto, considerando os resultados de nosso estudo com pacientes obesas submetidas à cirurgia laparoscópica na posição de Trendelenburg, podemos supor que o modo PCV-VG seja mais eficaz do que o VCV para aumentar a oxigenação. O padrão do fluxo de desaceleração do modo PCV-VG insufla rapidamente os alvéolos para que todos os alvéolos atinjam uma distribuição mais uniforme do volume corrente, o que diminui a quantidade de atelectasias através do recrutamento alveolar aprimorado. Parece claro que o modo controlado por pressão e o perfil do fluxo da PCV-VG permitem melhor o recrutamento alveolar antes do pneumoperitônio em população obesa.

A pressão média das vias aéreas está associada à ventilação alveolar e valores mais altos de $P_{\text{média}}$ aumentam a oxigenação arterial.²⁰ Em situação de melhor oxigenação, pressões médias mais altas podem ser previstas, mas a PCV-VG alcançou valores mais baixos de $P_{\text{média}}$ do que a VCV em todos os tempos mensurados após o pneumoperitônio. Para o mesmo volume ajustado, a desaceleração do fluxo inspiratório chega a valores melhores com a PCV-VG do que com a VCV. Apesar de a pressão média ter sido baixa no Grupo PCV-VG, o alto volume corrente de pneumoperitônio em todos os pulmões indica que os alvéolos que apresentaram atelectasia após o pneumoperitônio e a posição de Trendelenburg também participaram da ventilação. Quando mais alvéolos participam da ventilação, a relação ventilação/perfusão é mais bem preservada com o uso da PCV-VG.

Outro resultado importante deste estudo foi que a complacência dinâmica do Grupo PCV-VG foi estatisticamente significativa em todos os tempos de mensuração após o pneumoperitônio. No Grupo PCV-VG, um declínio de 44% foi observado no T2, em contraste com um declínio de 55% no Grupo VCV no T2. Hirvonen et al., que avaliaram os efeitos ventilatórios de um tempo prolongado de pneumoperitônio com CO_2 e da posição de Trendelenburg, mostraram que a complacência dinâmica foi reduzida em 20% na posição de cabeça para baixo e adicionalmente reduzida em 30% com o

pneumoperitônio, atingiu uma redução total de 50%.²¹ Considerando o resultado do estudo feito por Hirvonen, este estudo constatou que o modo PCV-VG proporcionou uma redução menor da complacência dinâmica. A maior complacência obtida com a PCV-VG pode ser benéfica durante cirurgias ginecológicas laparoscópicas.

Em nosso estudo, a *driving pressure* e a pressão de platô do Grupo VCV após o início do pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg aumentaram significativamente em comparação com os valores basais e, nos mesmos tempos de mensuração, foram mais altas do que as do Grupo PCV-VG. A seleção de um modo melhor de ventilação em pacientes obesos foi avaliada anteriormente.²² O uso do modo controlado por volume acarreta o risco de pressões inspiratórias positivas aumentadas para atingir o volume corrente predefinido. Assim, a verificação da pressão alveolar inspiratória final definida como pressão de platô é crucial para evitar o barotrauma. Em nosso estudo, os níveis significativamente mais altos da pressão de platô no Grupo VCV previram a possibilidade de barotrauma. A *driving pressure* é a diferença entre a pressão de platô e a PEEP; em outras palavras, a *driving pressure* é o quociente entre o volume corrente e a complacência do sistema respiratório.²³ Tanto a complacência dos pulmões quanto a pressão de platô afetam a *driving pressure*. Estratégias de ventilação mecânica que favorecem menores pressões de platô, menores *driving pressures*, maiores níveis de PEEP e menores volumes correntes foram associadas a taxas maiores de sobrevivência na síndrome do desconforto respiratório agudo.²⁴ Portanto, um aumento da *driving pressure* mostrará um pulmão não recrutável no qual a distensão excede o recrutamento. Buggedo et al. sugeriram $15 \text{ cm H}_2\text{O}$ como limite de segurança para a *driving pressure*.²⁵ Em nosso estudo, os níveis da *driving pressure* excederam $15 \text{ cm H}_2\text{O}$ após o início do pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg nos dois grupos. Entretanto, nossos resultados sugerem que o modo PCV-VG reduziu a *driving pressure* na presença dos mesmos valores de PEEP nos dois grupos. Assim, definir o modo ventilatório para PCV-VG em paciente submetido à cirurgia na posição de Trendelenburg diminuirá a *driving pressure*. O declínio da *driving pressure* pode melhorar os resultados respiratórios após a cirurgia.

Os pacientes obesos tendem a desenvolver atelectasias devido às cargas mecânicas pulmonares agravadas pela adiposidade excessiva e pela presença comum de morbidades respiratórias adicionais.⁵ Portanto, a PEEP é um método crucial para melhorar a mecânica respiratória. Em nosso estudo, aplicamos PEEP a 5 mmHg a todos os pacientes, como é a prática clínica atual.

Dois estudos randômicos e controlados descobriram melhores níveis de oxigenação que favoreceram o modo PCV-VG sobre o modo VCV no campo da cirurgia torácica e OLV.^{9,13} Também descobrimos que a oxigenação arterial foi maior no Grupo PCV-VG do que no Grupo VCV nos três tempos mensurados após o início do pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg. Embora esse achado tenha sido significativo, os níveis medidos da pressão parcial de oxigênio foram mais altos do que os limiares destinados à oxigenação durante a ventilação mecânica. Em nossa opinião, esses níveis mais altos não afetaram a saturação arterial de oxigênio; assim, os valores de saturação arterial de oxigênio permaneceram acima de 98%. Portanto, esse

achado não tem grande impacto em favorecer um modo de ventilação sobre outro em termos de oxigenação.

Em nosso estudo, após 30 minutos do início do pneumoperitônio e da posição de Trendelenburg, níveis aumentados de etCO_2 foram encontrados nos dois grupos. No entanto, o ajuste da frequência respiratória para manter o valor de etCO_2 entre 35 e 40 mmHg resultou na variação normalizada dos níveis de PaCO_2 . Esses resultados em relação aos níveis da PaCO_2 sugerem que não há superioridade entre as duas técnicas de ventilação para a remoção de CO_2 .

Uma limitação deste estudo foi que avaliamos apenas um tipo de cirurgia com a posição de Trendelenburg. Outros tipos de cirurgias, com as robóticas, podem exigir posições de Trendelenburg mais íngremes, o que pode modificar os resultados. Outra limitação foi a inclusão de apenas pacientes sem doença pulmonar concomitante. Portanto, esses resultados não podem ser generalizados para incluir pacientes com doenças pulmonares obstrutivas ou restritivas. Além disso, nenhuma avaliação de atelectasia pulmonar foi feita no pós-operatório.

Conclusão

Os resultados deste estudo indicam que o modo de ventilação PCV-VG limitou a pressão inspiratória de pico, diminuiu a *driving pressure* e aumentou a complacência dinâmica comparado ao modo VCV em pacientes obesas submetidas à histerectomia laparoscópica, com pressão de pneumoperitônio de 14 mmHg e em posição de Trendelenburg 30°. A PCV-VG pode ser uma modalidade preferida para prevenir o barotrauma durante cirurgias laparoscópicas em pacientes obesos.

Financiamento

Este trabalho não recebeu apoio financeiro de organização médica privada ou de nossa universidade.

Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Referências

- Jacoby VL, Autry A, Jacobson G, et al. Nationwide use of laparoscopic hysterectomy compared with abdominal and vaginal approaches. *Obstet Gynecol.* 2009;114:1041–8.
- Nguyen NT, Wolfe BM. The physiologic effects of pneumoperitoneum in the morbidly obese. *Ann Surg.* 2005;241:219–26.
- Jensen MD, Ryan DH, Apovian CM, et al. Reprint: 2013 AHA/ACC/TOS Guideline for the Management of Overweight and Obesity in Adults. *J Am Pharm Assoc (2003).* 2014;54:e3.
- Hodgson LE, Murphy PB, Hart N. Respiratory management of the obese patient undergoing surgery. *J Thorac Dis.* 2015;7:943–52.
- Fernandez-Bustamante A, Hashimoto S, Serpa Neto A, et al. Perioperative lung protective ventilation in obese patients *BMC Anesthesiol [Internet]. BMC Anesthesiology.* 2015;15:56.
- Aldenkort M, Lysakowski C, Elia N, et al. Ventilation strategies in obese patients undergoing surgery: A quantitative systematic review and meta-analysis. *Br J Anaesth.* 2012;109:493–502.
- Sen O, Bakan M, Umutoglu T, et al. Effects of pressure-controlled and volume-controlled ventilation on respiratory mechanics and systemic stress response during prone position. *Springerplus.* 2016;5:1761.
- Keszler M. Volume-targeted ventilation. *Early Hum Dev.* 2006;82:811–8.
- Pu J, Liu Z, Yang L, et al. Applications of pressure control ventilation volume guaranteed during one-lung ventilation in thoracic surgery. *Int J Clin Exp Med.* 2014;7:1094–8.
- Ball L, Dameri M, Pelosi P. Modes of mechanical ventilation for the operating room. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2015;29:285–99.
- Song SY, Jung JY, Cho MS, et al. Volume-controlled versus pressure-controlled ventilation-volume guaranteed mode during one-lung ventilation. *Korean J Anesthesiol.* 2014;67:258–63.
- Mahmoud K, Ammar A, Kasemy Z. Comparison between pressure-regulated volume-controlled and volume-controlled ventilation on oxygenation parameters, airway pressures, and immune modulation during thoracic surgery. *J Cardiothorac Vasc Anesth.* 2017;31:1760–6.
- Boules NS, Ghobrial HZ. Efficiency of the newly introduced ventilatory mode “pressure controlled ventilation-volume guaranteed” in thoracic surgery with one lung ventilation. *Egypt J Anaesth.* 2011;27:113–9.
- Dion JM, McKee C, Tobias JD, et al. Ventilation during laparoscopic-assisted bariatric surgery: Volume-controlled, pressure-controlled or volume-guaranteed pressure-regulated modes. *Int J Clin Exp Med.* 2014;7:2242–7.
- Oğurlu M, Küçük M, Bilgin F, et al. Pressure-Controlled vs Volume-Controlled Ventilation During Laparoscopic Gynecologic Surgery. *J Minim Invasive Gynecol.* 2010;17:295–300.
- Assad OM, El Sayed AA, Khalil MA. Comparison of volume-controlled ventilation and pressure-controlled ventilation volume guaranteed during laparoscopic surgery in Trendelenburg position. *J Clin Anesth.* 2016;34:55–61.
- Liu Z, Liu X, Huang Y, et al. Intraoperative mechanical ventilation strategies in patients undergoing one-lung ventilation: a meta-analysis *Springerplus. Springer International Publishing.* 2016;5:1251.
- Cadi P, Guenoun T, Journois D, et al. Pressure-controlled ventilation improves oxygenation during laparoscopic obesity surgery compared with volume-controlled ventilation. *Br J Anaesth.* 2008;100:709–16.
- Davis K, Branson RD, Campbell RS, et al. Comparison of volume control and pressure control ventilation: Is flow waveform the difference? *J Trauma - Inj Infect Crit Care.* 1996;41:808–14.
- Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean airway pressure: Physiologic determinants and clinical importance - Part 2: Clinical implications. *Crit Care Med.* 1992;20:1604–16.
- Hirvonen EA, Nuutinen LS, Kauko M. Ventilatory effects, blood gas changes, and oxygen consumption during laparoscopic hysterectomy. *Anesth Analg.* 1995;80:961–6.
- De Jong A, Chanques G, Jaber S. Mechanical ventilation in obese ICU patients: From intubation to extubation. *Crit Care.* 2017;21:63.
- Amato MBP, Meade MO, Slutsky AS, et al. Driving Pressure and Survival in the Acute Respiratory Distress Syndrome. *N Engl J Med.* 2015;372:747–55.
- Briel M, Meade M, Mercat A, et al. Higher vs lower positive end-expiratory pressure in patients with acute lung injury and acute respiratory distress syndrome: Systematic review and meta-analysis. *JAMA.* 2010;303:865–73.
- Bugedo G, Retamal J, Bruhn A. Driving pressure: a marker of severity, a safety limit, or a goal for mechanical ventilation? *Crit Care.* 2017;21:199.