

Volume x Pressão. Qual escolher?

Volume x Pressure. Which to choose?

Daniel de Andrade Araújo¹, Bruno Carvalho Cunha de Leão², Rogério de Souza Ferreira³

DOI: 10.5935/2238-3182.20140127

RESUMO

As primeiras gerações de ventiladores mecânicos surgiram na década de 1960 e eram ciclados à pressão e não garantiam volume corrente mínimo. A substituição desses aparelhos ao longo da década de 1970 por aparelhos controlados a volume visava à manutenção ou normalização dos gases arteriais. Posteriormente, a evidência de injúria pulmonar ocasionada pelos altos volumes correntes em pacientes com síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) promoveu o ressurgimento dos ventiladores controlados à pressão. A ventilação volume controlada (VVC) e a ventilação pressão controlada (VPC) não são diferentes modos ventilação, mas sim diferentes variáveis de controle do modo ventilatório. Neste início de século ainda não há consenso global sobre o melhor controle da ventilação e as evidências revelam não existir controle mais eficaz para todas as situações, mas sim que essas situações devem ser individualizadas. Esta revisão fornece a descrição sobre o controle à pressão e volume usados nos principais modos ventilatórios, esclarecendo suas principais vantagens e desvantagens teóricas, como também as principais evidências de seu uso em diferentes contextos clínicos.

Palavras-chave: Respiração Artificial; Ventiladores Mecânicos; Respiração Com Pressão Positiva.

ABSTRACT

The first generation of mechanical ventilators emerged in the 1960s; these were pressure-cycled and did not guarantee a minimum tidal volume. The replacement of these devices throughout the 1970s by volume-controlled devices was aimed at maintenance or normalization of arterial gases. Subsequently, evidence of lung injury caused by high tidal volumes in patients with acute respiratory distress syndrome (ARDS) stimulated the resurgence of pressure-controlled ventilators. Volume-controlled ventilation (VCV) and pressure-controlled ventilation (PCV) are not different ventilation modes, but different control variables of the ventilation mode. This new century has still not seen a global consensus on the best ventilation control and the evidence shows that there is no effective control universally applicable for all situations, but that these situations should be customized. This review provides a description of the pressure and volume control used in the main ventilation modes and explains their main theoretical advantages and disadvantages as well as the main rationale behind their use in different clinical settings.

Key words: Respiration, Artificial; Ventilators, Mechanical; Positive-Pressure Respiration.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

Os primeiros ventiladores usados em larga escala foram introduzidos na década de 1960 e eram controlados e ciclados à pressão. O objetivo da ventilação mecânica

¹ Médico. Residente em Anestesiologia do Hospital Júlia Kubitschek da Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais – FHEMIG. Belo Horizonte, MG – Brasil.
² Médica Anestesiologista. Título Superior em Anestesiologia – TSA pela Sociedade Brasileira de Anestesiologia – SBA. Hospital Júlia Kubitschek da FHEMIG, Hospital Life Center, Maternidade Odete Valadares. Corresponsável pela Residência de Anestesiologia do CET-SBA do Hospital Júlia Kubitschek – FHEMIG. Belo Horizonte, MG – Brasil.
³ Médico. TSA-SBA. Coordenador da Residência em Anestesiologia do Hospital Regional de Betim. Belo Horizonte, MG – Brasil.

Instituição:
Hospital Júlia Kubitschek – Fundação Hospitalar do Estado de Minas Gerais – FHEMIG
Belo Horizonte, MG – Brasil

Autor correspondente:
Daniel de Andrade Araújo
E-mail: daniel.andrade.araujo@hotmail.com

era fornecer ventilação, manter os níveis tensionais dos gases sanguíneos e promover algum conforto ao paciente. Esses aparelhos não eram capazes de garantir volume corrente e volume minuto mínimos em meio às mudanças da dinâmica respiratória, quando, em meados da década de 1970, foram desenvolvidos aparelhos controlados a volume. Nos anos 1980, frente às evidências de dano causado pelas altas pressões necessárias para dispensar um volume predeterminado, ressurgiu o interesse em modos controlados à pressão, quando novas estratégias de ventilação foram propostas, visando à proteção pulmonar. O debate sobre o modo de ventilação mais eficiente continua desde então, entretanto, nenhum consenso global foi estabelecido.¹⁻³

INTRODUÇÃO

Um ventilador mecânico é um aparato projetado para alterar ou dirigir energia aplicada de maneira predeterminada, com o propósito de ajudar ou de substituir a função natural dos músculos respiratórios. Durante a ventilação mecânica, a dinâmica da respiração é influenciada por fatores intrínsecos do paciente, como a complacência, o volume dos pulmões, a musculatura respiratória e a resistência das vias aéreas. O volume inspirado, a pressão e o fluxo inspiratórios são produtos da interação paciente-ventilador que podem ser ajustados para otimizar a ventilação. É importante ressaltar que os ventiladores podem controlar uma única variável ao longo da inspiração (volume, pressão ou fluxo) e nunca duas variáveis simultaneamente.⁴ Devido à relação direta entre fluxo e volume, refere-se aqui apenas a ventiladores controlados à pressão ou volume. Os ventiladores podem ser vistos como máquinas que limitam a curva de pressão ou a curva de volume e, conseqüentemente, refere-se à pressão ou ao volume como a variável de controle. Existem também os ventiladores com duplo controle que, apesar de não poderem controlar duas variáveis ao mesmo tempo, são capazes de alternar entre uma variável e outra em uma mesma inspiração quando volume corrente ou pressão predeterminados não são alcançados.⁵

É importante ressaltar que a ventilação controlada a volume (VVC) e a ventilação controlada à pressão (VPC) não são modos de ventilação. A seleção de controle a volume ou pressão simplesmente determina qual variável de controle está sen-

do usada para facilitar a transmissão do fluxo ao paciente, ou melhor, qual variável o ventilador usa como *feedback* para controlar a inspiração.⁶ Dessa forma, volume e pressão não definem ou especificam o modo ventilatório.

O modo de ventilação é determinado pelos tipos de respiração (mandatórios ou espontâneos) disponíveis ao paciente e como o sincronismo de cada tipo de respiração é determinado. Dessa forma, existem três tipos básicos de sequências ventilatórias:

- **continuous mandatory ventilation (CMV):** todas as respirações são imperativas, sendo iniciadas pelo aparelho (ditas controladas) ou pelo paciente (ditas assistidas). Ambos os tipos são terminados ou ciclados pelo aparelho. Esse modo pode ser controlado por volume ou pressão;
- **continuous spontaneous ventilation (CSV):** todas as respirações são iniciadas e finalizadas pelo paciente. Aqui se encontram o modo pressão de suporte (PSV) e o modo pressão positiva contínua de vias aéreas (CPAP). Não há respirações mandatórias e a frequência respiratória é determinada pelo paciente. Apenas pode ser controlado à pressão;
- **synchronized intermittent mandatory ventilation (SIMV):** caracterizada pela combinação de ciclos mandatórios e espontâneos. Nesse modo, apenas a frequência dos ciclos mandatórios são programados e o paciente pode respirar espontaneamente entre os ciclos, aumentando a frequência respiratória.⁷

VENTILAÇÃO CONTROLADA A VOLUME

Durante a VVC escolhe-se o volume que será entregue ao paciente em cada respiração mandatória. O volume é considerado a variável independente e se manterá constante a despeito de alterações na resistência, complacência ou do esforço respiratório do paciente. Nesse tipo de controle é possível atingir altas pressões de via aérea em decorrência do aumento da resistência, uso da musculatura respiratória ou redução da complacência.⁴

Na VVC, o volume corrente e o volume minuto são controlados pelo operador do aparelho, o que, a princípio, parece ser vantajoso, porém aumento na complacência ou diminuição na resistência podem ocasionar ventilação alveolar desproporcional, aumentando o espaço morto. Nesse tipo de controle, o operador pode escolher como o volume será en-

tregue ao paciente, predeterminando o tempo de inspiração ou o fluxo. Essas definições são importantes para determinar a pressão média de vias aéreas, determinar como o fluxo se distribui ao longo dos pulmões e o conforto ou tolerância do paciente ao receber o volume. Uma vez definidos o volume e o fluxo, o aparelho calcula o tempo inspiratório necessário para administrar o volume predefinido, dessa forma o aparelho cicla a tempo e não a volume.

Durante a VVC, o fluxo inspiratório é fixo, sendo sua onda de fluxo considerada quadrada (Figura 1), porém as demandas do paciente podem variar, gerando dessincronia por fluxo inspiratório inadequado.⁵ Assim, esse tipo de controle pode exigir constante atenção e manipulação da variável fluxo. Outra desvantagem é que o volume pode ser mais facilmente entregue a áreas de menos resistência ou mais complacência, produzindo áreas de hiperdistensão.

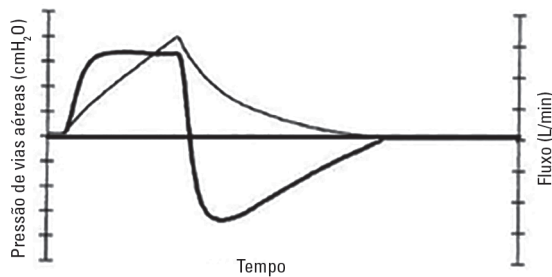


Figura 1 - Curvas de pressão e fluxo ao longo do tempo em ventilação controlada a volume com fluxo fixo. Curva mais grossa: fluxo. Curva mais fina: pressão. Adaptado de Campbell RS, Davis BR. Pressure-controlled versus volume controlled ventilation: Does it matter? *Respir Care*. 2002 Apr;47(4):416-24.

VENTILAÇÃO CONTROLADA À PRESSÃO

De maneira semelhante ao controle a volume, na VPC a pressão passa a ser a variável independente, não sofrendo alterações com modificações da complacência, resistência ou esforço inspiratório do paciente. Nesse modo, o ventilador rapidamente produz um fluxo para atingir a pressão inspiratória predefinida, o qual se reduz ao longo da inspiração, sendo, portanto, desacelerado.

O fluxo nesse tipo de ventilação pode variar com as alterações na resistência ou complacência do paciente, porém como seu valor é fixo no tempo, previamente predefinido, a ventilação controlada à pressão também cicla a tempo (Figura 2).⁴

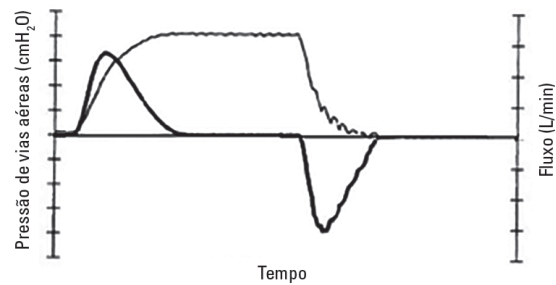


Figura 2 - Curvas de pressão e fluxo ao longo do tempo em ventilação pressão controlada com fluxo desacelerado. Curva mais grossa: fluxo. Curva mais fina: pressão. Adaptado de Campbell RS, Davis BR. Pressure-controlled versus volume controlled ventilation: Does it matter? *Respir Care*. 2002 Apr;47(4):416-24.

Devido às características do fluxo variarem conforme a demanda do paciente, esse controle proporciona mais conforto ao paciente em ventilação espontânea.⁵ Outra vantagem é a proteção contra hiperdistensão de áreas pulmonares, uma vez que a pressão inspiratória é limitada.

Como desvantagem desse controle está a grande variação do volume corrente com as mudanças de impedância do sistema respiratório, que podem provocar redução do volume minuto e hipoxemia. Outra desvantagem ocorre devido ao tempo inspiratório ser fixo, uma vez que o aumento da frequência respiratória pode ocasionar autoPEEP, caso o tempo inspiratório não seja ajustado. Vários aparelhos utilizam a relação inspiração/expiração em vez de tempo inspiratório, que é calculado de acordo com a frequência respiratória predefinida.^{4,5}

Durante a respiração passiva, pacientes saudáveis possuem uma curva de fluxo inspiratório sinusoidal. Quando em ventilação ativa ou em uso de vias aéreas artificiais, assumem uma curva em forma de onda de fluxo desacelerado. Atualmente, é aceito que esse fluxo desacelerado é associado à melhor distribuição do gás, menores pressões de vias aéreas, mais conforto ao paciente, com redução do trabalho respiratório.¹⁰ Alguns aparelhos oferecem diversas formas de fluxo desacelerado, os quais podem ser selecionados pelo operador, de acordo com sua preferência ou com a demanda do paciente.

VOLUME CONTROLADO VERSUS PRESSÃO CONTROLADO: QUAL É MELHOR?

As evidências mais recentes mostram que não há um controle mais eficiente e seguro para todas as situ-

ações. Os benefícios de cada controle vão depender da situação clínica, do procedimento a que o paciente será submetido, das comorbidades, do aparelho disponível e da experiência do operador. Em pacientes cirúrgicos a escolha do tipo de controle torna-se especialmente relevante em situações em que a ventilação é sabidamente difícil, como em obesos, em cirurgias com posição de trendelenburg, assim como em situações nas quais a dinâmica respiratória sofre constante influência do procedimento cirúrgico, como nas videolaparoscopias. Existem situações nas quais a ventilação é fator determinante no tratamento, como no trauma cranioencefálico, em situações de injúria pulmonar, como na síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) e em crianças. Didaticamente dividiremos a revisão em três grupos de pacientes: pacientes eletivos, pacientes críticos e crianças.

Pacientes eletivos

Em pacientes não obesos submetidos à cirurgia videolaparoscópica ginecológica, Ogurlu *et al.*⁸ não observaram diferença nas medidas dos gases arteriais em pacientes ventilados à pressão ou volume, mas apenas redução na pressão de pico e de platô no grupo VPC, porém sem alterações hemodinâmicas. Concluiu-se que nesse grupo de pacientes não há benefício de um controle em relação a outro. Esses resultados corroboraram os resultados de Tyagi *et al.*⁹, que demonstraram que apesar das modificações na dinâmica respiratória e de baixos níveis de pressão de pico e altos níveis de pressão de platô no grupo em ventilação controlada à pressão, isso não se traduziu em melhor oxigenação ou níveis de PaCO₂ mais adequados.

Resultados semelhantes foram encontrados por Choi *et al.*¹⁰ em estudo randomizado com os pacientes em posição de trendelenburg. Constataram que a VPC não tem vantagens em relação à controlada a volume no que diz respeito à mecânica respiratória ou hemodinâmica.

Em estudo realizado com auxílio da ecocardiografia transesofágica, Balick-Weber *et al.*¹¹ avaliaram se na concomitância de pneumoperitônio e VPC poderia ocorrer alguma resposta respiratória ou cardiovascular complexa. Foi demonstrado, de maneira semelhante aos estudos anteriores, que a pressão de pico atinge níveis mais baixos e a pressão de platô níveis ligeiramente mais altos na VPC. Apesar desses resultados, os valores encontrados na VVC

não foram considerados demasiadamente altos, não ultrapassando os limites pressóricos predefinidos e não provocando injúria pulmonar. Nenhuma diferença significativa foi registrada na função sistólica ou diastólica pelo ecotransesofágico.

Em pacientes obesos submetidos à videolaparoscopia a manutenção de adequado nível de oxigenação com aceitável pressão pulmonar pode ser um verdadeiro desafio, tendo em vista a soma de duas importantes variáveis: obesidade e pneumoperitônio. Apesar de ser menos trabalhosa, a VVC pode precisar aumentar demasiadamente a pressão do sistema, ocasionando possível dano alveolar em função do barotrauma.

Estudo randomizado com pacientes obesos submetidos à colecistectomia videolaparoscópica, realizado por Gupta *et al.*¹², mostrou que após a estabilização do pneumoperitônio o grupo em VVC necessitou de maior frequência respiratória e volume correntes comparado com o grupo controlado à pressão, além de produzirem pressões de pico mais altas. O estudo não mostrou diferença no pH arterial e nos gases arteriais, porém após 35 minutos de cirurgia a PaO₂ estava mais alta e o coeficiente alveoloarterial de oxigênio mais baixo no grupo ventilado à pressão. Concluiu-se que a VPC seria a melhor escolha nesse grupo de pacientes, por melhorar a oxigenação e causar menos injúria pulmonar.

Cadi *et al.*¹³ realizaram estudo em pacientes obesos submetidos à cirurgia de bariátrica por videolaparoscopia. No estudo foram incluídos pacientes adultos com IMC acima de 35 kg.m², com PaCO₂<45 mmHg e não portadores de doenças pulmonares restritivas ou obstrutivas ditas maiores, definidas por testes funcionais. Os pacientes foram randomizados em dois grupos e ventilados com controle a volume ou pressão. Inicialmente ambos os grupos foram ventilados com parâmetros semelhantes no que se refere à frequência respiratória, relação I/E e FiO₂. Nos pacientes em VVC, o volume corrente inicial foi definido em 8 mL.kg⁻¹. Já nos pacientes em VPC a pressão foi definida para atingir volume corrente também de 8 mL.kg⁻¹. Ajustes nos parâmetros iniciais eram realizados seguindo protocolo definido para manter pressão parcial de CO₂ expirado entre 33 e 34 mmHg. Amostra de sangue arterial foi colhida após 45 minutos de laparoscopia (desde que ETCO₂ e volume minuto estivessem estáveis por pelo menos 10 min.) e as variáveis cardiovasculares e respiratórias foram anotadas. O procedimento foi repetido após 2h de extubação. Apurou-se que os valores de pH, PaO₂, SaO₂

e a relação $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ foram maiores no grupo VPC. Já o valor da PaCO_2 , do gradiente $\text{ETCO}_2\text{-PaCO}_2$ e do gradiente alveoloarterial de oxigênio foram menores nesse grupo. Não houve diferença na pressão de platô entre os grupos, assim como nas variáveis hemodinâmicas e demais variáveis respiratórias. Ao atingir valores mais altos de PaO_2 , era esperada pressão de platô mais elevada no grupo VPC, porém isso não foi observado no estudo. Propuseram que a melhor distribuição dos gases no pulmão, a entrega mais rápida do volume corrente e o fluxo desacelerado devem ser os responsáveis por esses achados e podem compensar eventual redução na ventilação causada pela limitação de volume. Concluiu-se que na cirurgia bariátrica videolaparoscópica a VPC exibe melhor perfil gasométrico sem aumentar as pressões ventilatórias ou causar efeitos adversos hemodinâmicos.

Pacientes críticos

Entre os pacientes críticos os portadores da síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA) são, sem dúvida, os mais desafiadores. No passado, a estratégia ventilatória incluía volumes correntes altos, na faixa de 10 a 15 mL/kg, como tentativa de normalizar a PaCO_2 e o pH. Estudos na década de 1990 mostraram que uma estratégia protetora com baixos volumes correntes, hipercapnia permissiva, baixas pressões de platô e altos níveis de PEEP para manter o recrutamento alveolar poderiam reduzir a lesão pulmonar induzida por ventilador.¹⁴ Kallet *et al.*¹⁵ estudaram pacientes com SDRA em ventilação assistida e concluíram que o esforço respiratório nos pacientes ventilados à pressão era significativamente menor. Esse resultado discorda dos achados de Esteban *et al.*¹⁶ que, ao randomizar pacientes em ventilação assistida controlada, não detectou diferenças de desfecho entre ventilação controlada a volume e à pressão.

Em atualização do ano 2014 de importante revisão sistemática da literatura publicada pela *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Nicola e Carlo¹⁷ buscaram na *Cochrane Central Register of Controlled Trials*, como também nas bases MEDLINE, EMBASE, CINAHL, pesquisas de alto padrão metodológico para avaliar a influência da ventilação protetora com baixos volumes correntes em pacientes com SDRA. Tanto pacientes ventilados à pressão como a volume estavam incluídos nos estudos. Observaram que a mortalidade no 28º dia de internação foi significativamente reduzida no grupo

com ventilação protetora, com risco relativo (RR) de 0,74 (intervalo de confiança de 95%), independentemente do tipo de controle da ventilação. Nos pacientes com SDRA, a escolha do controle da ventilação parece ser menos importante que a estratégia protetora pulmonar com as medidas gerais já citadas.

Já em pacientes vítimas de trauma cranioencefálico é consagrada a ideia de que a morbimortalidade pode ser aumentada por fatores que ocorrem após a injúria inicial, sobretudo hipóxia e hipotensão. Dessa forma, a ventilação mecânica precoce é fundamental no tratamento desses pacientes. Othman *et al.*¹⁸ compararam os controles da ventilação mecânica em pacientes com TCE grave em estudo de coorte. Concluíram não haver diferença estatisticamente significativa na frequência cardíaca, na pressão arterial média e na pressão de artéria pulmonar. O débito cardíaco dos pacientes foi reduzido de maneira semelhante em ambos os grupos. Nenhuma diferença foi observada no pH arterial e nos gases arteriais. Detectaram redução na pressão de pico nos pacientes em VPC, mas isso parece não ter resultado em melhora hemodinâmica ou ter afetado positivamente as trocas gasosas. Concluíram que a escolha do controle da ventilação não afeta a oxigenação ou a dinâmica respiratória no grupo estudado.

Crianças

A ventilação mecânica em crianças e recém-nascidos sempre foi um desafio para os anestesiológicos, tanto por fatores anatômicos e fisiológicos da criança como pela ineficiência de alguns aparelhos de anestesia em ventilar crianças muito pequenas ou recém-nascidos. Habitualmente, a VPC tem sido usada em crianças muito pequenas, devido ao fluxo rápido e desacelerado conseguir vencer a resistência aumentada desses pacientes em menos tempo e atingir menores pressões de pico. Outro benefício consagrado da VPC diz respeito aos casos nos quais se usam tubos endotraqueais sem balonete, cujo aparelho corrige as perdas por vazamento. Uma desvantagem consagrada desse tipo de controle em crianças muito pequenas ocorre, sobretudo, em pacientes cirúrgicos, em que qualquer manipulação abdominal ou torácica pode ocasionar a redução do volume corrente e rápida hipoxemia. Já em pacientes da terapia intensiva os altos volumes correntes que podem advir da VPC têm sido associados ao desenvolvimento de doenças pulmonares crônicas e displasia broncopulmonar.¹⁹

Contrariando as evidências anteriores, Peng *et al.*,²⁰ em recente metanálise que incluiu estudos com recém-nascidos com menos de 37 semanas, pesando menos de 2.500 g e que tenham feito uso da ventilação mecânica, concluíram que em prematuros o uso da VVC reduziu a incidência de displasia broncopulmonar, o tempo de ventilação mecânica, a incidência de pneumotórax e de hiperventilação idiopática, porém não avaliaram a mortalidade desses pacientes.

Em revisão sistemática realizada pelo *Cochrane Neonatal Group* e publicada na *Cochrane Database of Systematic Reviews*, Wheeler *et al.*²¹ avaliaram estudos controlados randomizados e de coorte comparando VPC e VVC em quase 700 recém-nascidos. Concluíram que a ventilação controlada a volume poderia reduzir a mortalidade e a displasia broncopulmonar de maneira significativa, com RR 0,73 (IC de 95%) e NNT de 8. Também reduziria a incidência de pneumotórax, RR de 0,46 (IC de 95%) e NNT de 17, os dias de ventilação mecânica, a incidência de hiper carbia, RR de 0,56 (IC de 95%) e NNT de 4, assim como de leucomalácia periventricular e hemorragia interventricular com RR de 0,48 (IC de 95%) e NNT de 11. Porém, sugerem que novos estudos sejam realizados para verificar se as modalidades neuroprotetoras de ventilação oferecem bons resultados e para que sejam definidos refinamentos na VVC.

CONCLUSÃO

Quando comparada à VVC com onda de fluxo quadrada, a VPC aparece como uma opção mais próxima da fisiológica, grande parte em função de seu fluxo desacelerado. As vantagens seriam: melhor distribuição da ventilação, com menor espaço morto, menor pico de pressão nas vias aéreas, maior pressão média das vias aéreas, maior complacência, redução da PaCO₂ e aumento da PaO₂. Além disso, tem-se a segurança de não haver hiperdistensão de alvéolos, fato que teoricamente poderia evitar maior lesão induzida pelo ventilador.

As evidências parecem estar bem estabelecidas em pacientes neonatais que seguramente se beneficiem da VVC. Em pacientes com SDRA, há evidente e consagrado benefício da ventilação mecânica protetora. Altos volumes correntes e alta pressão de platô foram associados a risco de morte nesse grupo, porém a contribuição independente de cada um desses fatores não foi identificada, sendo necessários

outros estudos para definir a influência do controle da ventilação no desfecho da SDRA, principalmente na mortalidade geral, na duração da ventilação mecânica, no desenvolvimento de falência de múltiplos órgãos e no prognóstico cognitivo.

Os trabalhos clínicos não conseguiram demonstrar de forma definitiva as vantagens da VPC em relação à morbimortalidade dos pacientes adultos não críticos, sobretudo quando comparada à VVC com fluxo de padrão desacelerado. Ao que parece, os benefícios são pouco relevantes na população geral e particularmente mais evidentes em pacientes com complacência pulmonar inicialmente comprometida.

REFERÊNCIAS

1. Dreyfuss D, Basset G, Soler P, Saumon G. Intermittent positive pressure hyperventilation with high inflation pressures produces pulmonary microvascular injury in rats. *Am Rev Respir Dis.* 1985; 132:880-4.
2. Kolobow T, Morretti MP, Fumagalli R, Mascheroni D, Prato P, Chen V, *et al.* Severe impairment in lung function by high peak airway pressure during mechanical ventilation. An experimental study. *Am Rev Respir Dis.* 1987; 135:312-5.
3. Dreyfuss D, Soler P, Basset G, Saumon G. High inflation pressure pulmonary edema. Respective effects of high airway pressure, high tidal volume, and positive end-expiratory pressure. *Am Rev Respir Dis.* 1988; 137:1159-64.
4. Campbell RS, Davis BR. Pressure-controlled versus volume-controlled ventilation: does it matter? *Respir Care.* 2002 Apr; 47(4):416-24; discussion 424-6.
5. Garnero AJ, Abbona H, Vidal FG, Gelbard CH. Pressure versus volume controlled modes in invasive mechanical ventilation. *Med Intensiva.* 2013; 37:292-8.
6. Chatburn RL. A new system for understanding mechanical ventilation of modes of ventilator operation. *Respir Care.* 1991; 36(10):1123-1155.
7. Chatburn RL. Classification of ventilator modes: update and proposal for implementation. *Respir Care.* 2007; 52:301-23.
8. Ogurlu M, Kuçuk M, Bilgin F, Sizlan Ali, Yanarates O, Eksert S, *et al.* Pressure-controlled vs volume-controlled ventilation during laparoscopic gynecologic surgery. *J Minim Invasive Gynecol.* 2010 May-Jun; 17(3):295-300.
9. Tyagi A, Kumar R, Sethi AK, Mohta M. A comparison of pressure-controlled and volume-controlled ventilation for laparoscopic cholecystectomy. *Anaesthesia.* 2011 Jun; 66(6):503-8.
10. Choi EM, Na S, Choi SH, An J, Rha KH, Oh YJ. Comparison of volume-controlled and pressure-controlled ventilation in steep trendelenburg position for robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *J Clin Anesth.* 2011 May; 23(3):183-8.

11. Balick-Weber CC, Nicolas P, Hedreville-Montout M, Blanchet P, Stéphan F. Respiratory and haemodynamic effects of volume-controlled vs pressure-controlled ventilation during laparoscopy: a cross over study with echocardiographic assessment. *Br J Anaesth.* 2007 Sep; 99(3):429-35.
12. Gupta SD, Kundu SB, Ghose T, Maji S, Mitra K, Mukherjee M, *et al.* A comparison between volume-controlled ventilation and pressure-controlled ventilation in providing better oxygenation in obese patients undergoing laparoscopic cholecystectomy. *Indian J Anaesth.* 2012 May; 56(3):276-82.
13. Cadi P, Guenoun T, Chevallier JM, Diehl JL, Safran D. Pressure-controlled ventilation improves oxygenation during laparoscopic obesity surgery compared with volume-controlled ventilation. *Br J Anaesth.* 2008 May; 100(5):709-16.
14. Futier E, Constantin JM, Jaber S. Protective lung ventilation in operating room: a systematic review. *Minerva Anesthesiol.* 2014 Jun; 80(6):726-35.
15. Kallet RH, Jasmer RM, Pittet JF, Tang JF. Clinical implementation of the ARDS network protocol is associated with reduced hospital mortality compared with historical controls. *Crit Care Med.* 2005; 33:925-29.
16. Esteban A, Alia I, Gordo F. Prospective randomized trial comparing pressure-controlled ventilation and volume-controlled ventilation in ARDS. For the Spanish lung failure collaborative group. *Chest.* 2000; 117:1690-96.
17. Nicola P, Carlo DF. Lung protective ventilation strategy for the acute respiratory distress syndrome. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* The Cochrane Library, Issue 8, 2014.
18. Othman MM, Farid AM, Mousa SA, Sultan M. Hemodynamic effects of volume-controlled ventilation versus pressure-controlled ventilation in head trauma patients. *ICU Director* 2013; 4:223-231.
19. Keszler M. Volume guarantee and ventilator-induced lung injury: Goldilock's rules. *Apply Pediatr Pulmonol.* 2006; 41:364-6.
20. Peng WS, Zhu HW, Shi H, Liu EM. Volume-targeted ventilation is more suitable than pressure-limited ventilation for preterm infants: a systematic review and meta-analysis. *Arch Dis Child Fetal Neonatal.* 2014; 99:158-65.
21. Kevin W, Claus K, Naomi M, Morley CJ, Peter D. Volume-targeted versus pressure-limited ventilation in the neonate. *Cochrane Database of Systematic Reviews.* In: The Cochrane Library, Issue 8, 2010.