

A mecânica da ventilação mecânica

The mechanics of mechanical ventilation

Aline Siqueira Melo¹, Renan Murta Soares de Almeida², Cláudio Dornas de Oliveira³

DOI: 10.5935/2238-3182.20140126

RESUMO

A ventilação mecânica tem representado um grande avanço no suporte respiratório dos pacientes em anestesia ou em tratamento intensivo. O suporte ventilatório aumenta a chance de sobrevida nos pacientes com insuficiência respiratória e/ou grandes procedimentos cirúrgicos. O trabalho consiste em um resumo dos avanços no suporte ventilatório, na descrição dos mecanismos fisiológicos e, principalmente, no funcionamento dos principais modos ventilatórios. Os limites de pressão, volume, PEEP e os conceitos de ventilação segura, estresse e cisalhamento são importantes para o tratamento adequado. Novos modos ventilatórios, apesar de não estarem ainda disponíveis em grande parte das unidades de saúde, também são descritos devido à sua grande importância para a melhor sincronia e menor número de complicações com o uso da ventilação mecânica.

Palavras-chave: Respiração Artificial; Insuficiência Respiratória; Ventiladores Mecânicos; Fenômenos Fisiológicos Respiratórios; Ventilação Pulmonar/fisiologia.

ABSTRACT

The Ventilator has represented an advance in the respiratory support for patients on anesthesia and intensive care. The ventilatory support increases the chance of survival in patients with respiratory failure, and / or major surgical procedures. This paper consists of a summary of advances in the ventilatory support, in describing the physiological mechanisms and especially the functioning of the main ventilation modalities. The limits of pressure, volume, PEEP, and the concepts of safe ventilation, Stress, Strain, are important for proper treatment. New ventilation modalities, despite not yet available in most health care units, are also described because of its great importance for better sync and fewer complications with the use of mechanical ventilation.

Key words: Respiration, Artificial; Respiratory Insufficiency; Ventilators, Mechanical; Respiratory Physiological Phenomena; Pulmonary Ventilation/physiology.

INTRODUÇÃO

A ventilação mecânica (VM) consiste em um método de suporte para o tratamento de pacientes com insuficiência respiratória aguda ou crônica agudizada, uma vez que substitui total ou parcialmente a ventilação espontânea, com o objetivo de propiciar adequada troca gasosa, reduzir o trabalho da musculatura respiratória e diminuir a demanda metabólica. A ventilação mecânica pode ser classificada como não invasiva, a partir de uma interface externa ou invasiva, através de um tubo endotraqueal ou cânula de traqueostomia.¹

¹ Médica. Especialista em Clínica Médica. Residente de Terapia Intensiva do Hospital Santa Casa da Misericórdia de Belo Horizonte. Belo Horizonte, MG – Brasil.

² Médico. Especialista em Clínica Médica e terapia intensiva. Horizontal do CTI nos Hospitais Santa Casa de Misericórdia de Belo Horizonte e Alberto Cavalcanti da Fundação Hospitalar de Minas Gerais – FHEMIG. Belo Horizonte, MG – Brasil.

³ Médico. Especialista em Clínica Médica, Pneumologia e Terapia Intensiva. MBA em Gestão de Saúde. Coordenador do CTI da Santa Casa de Misericórdia de BH, Coordenador do CTI do Hospital Mater dei Unidade Contorno. Belo Horizonte, MG – Brasil.

Instituição:
Santa Casa de Misericórdia de Belo Horizonte
Belo Horizonte, MG – Brasil

Endereço para correspondência:
Aline Siqueira Melo
E-mail: linesmelo@gmail.com

Os primeiros aparelhos surgiram no final do século XIX. Alfred Woillez desenvolveu um aparelho onde a caixa torácica do paciente sofria pressão negativa, enquanto as vias aéreas do paciente mantinha contato com a pressão atmosférica normal. Desta forma, a entrada de ar no pulmão se dava por pressão negativa. Esses aparelhos ficaram conhecidos como “pulmões de aço”.

Em meados dos anos 50/60, surgiram os aparelhos com ventilação por pressão positiva que necessitavam de uma via aérea invasiva. Nos anos seguintes, com a melhor elucidação da fisiopatologia de diversas doenças, vários conceitos e técnicas surgiram a respeito da ventilação mecânica.^{2,3}

Este artigo tem como objetivo a elucidação de conceitos da mecânica ventilatória e a aplicabilidade da ventilação mecânica

CONCEITOS FISIOLÓGICOS

Ventilar consiste em deslocar o ar para o interior dos alveolos. Os alvéolos são unidades microscópicas circundadas por vasos capilares. É nessa interface entre o epitélio alveolar, o interstício e o capilar tecidual que ocorrem as trocas gasosas.¹

O início da VM deve ser orientado de acordo com a causa da insuficiência respiratória.¹

O suporte ventilatório tem como objetivos:

- utilizar um método ventilatório capaz de ventilar e oxigenar adequadamente o paciente e com o qual o médico assistente tenha experiência;
- assegurar oferta apropriada de oxigênio aos órgãos vitais, mantendo saturação arterial de oxigênio adequada;
- assegurar remoção eficiente de CO₂ aceitando, porém, elevações dos níveis da PaCO₂, desde que não haja contraindicações;
- minimizar a toxicidade do oxigênio, os menores níveis possíveis de FiO₂;
- limitar as pressões transalveolares de 25 a 30 cmH₂O, o que normalmente corresponde a pressões de platô de 30-35 cmH₂O.

Pressões acima desse valor podem prejudicar a troca gasosa, por hiperdistensão alveolar e consequente compressão do capilar adjacente. Podem também causar lesão pulmonar direta induzida pela ventilação (*Ventilador Induced Lung Injury – VILI*). As forças de *Stress* e *Strain* são comumente implicadas na origem da lesão pulmonar.^{1,3}

O estresse (*stress*) é definido como a distribuição interna das forças contrárias à força exercida por uma unidade de área, enquanto o cisalhamento (*strain*) é a deformação da estrutura que sofre estresse. Clinicamente, o estresse pode ser avaliado pela pressão transtorácica (paw-ppleural).

CONCEITOS DE MECÂNICA VENTILATÓRIA

Existem quatro fases durante cada ciclo ventilatório:

- *Trigger* – fase inicial da respiração;
- fase de liberação de fluxo;
- fase ciclo-término da respiração;
- fase expiratória.^{1,4}

A inspiração pode ser iniciada durante a fase inicial por três mecanismos:

- tempo predeterminado no respirador pelo profissional de saúde;
- por mudança de pressão na qual o esforço do paciente diminui a pressão da via aérea e do circuito – sensibilidade de pressão; ou
- por mudança de fluxo – sensibilidade de fluxo.

No início de cada respiração, após o *trigger*, a valva inspiratória se abre e o fluxo é liberado. Esse fluxo é controlado por limites que o clínico estipula no respirador. Dois limites comumente usados são a taxa de fluxo e a taxa de pressão. No primeiro, a taxa e o padrão (forma da onda) são limitados pelo profissional de saúde. Nesse modo a pressão da via aérea varia. No segundo caso, o limite de pressão inspiratória é determinado pelo profissional. Nesse modo, o fluxo e o volume são variáveis.

A fase de liberação do fluxo é seguida pela fase ciclo-término, que como o próprio nome indica acaba com o término da inspiração. Isso pode acontecer de quatro formas diferentes, dependendo do modo ventilatório programado:

- **término do volume** – no qual a inspiração é terminada quando o volume predeterminado é alcançado;
- **término do tempo** – no qual a inspiração é terminada quando o tempo inspiratório é alcançado;
- **término do fluxo** – no qual a inspiração termina quando o fluxo inspiratório cai para o nível predeterminado;
- **término da pressão** – no qual a inspiração termina quando a pressão inspiratória é alcançada.⁴

Estas quatro formas de ciclar o respirador é o que classifica os modos ventilatórios.

A fase seguinte é a expiração. Essa é uma fase passiva que depende da elastância e da resistência das vias aéreas e do circuito. O produto da complacência e resistência das vias aéreas é o tempo constante (Tc). Alguns pacientes têm esse tempo prolongado e por esse motivo necessitam de tempos expiratórios maiores para que o ar saia do pulmão. Por outro lado, alguns pacientes têm o Tc curto, como ocorre na SARA e na fibrose pulmonar.⁴

Ao ventilar o paciente, deve-se atentar para novos conceitos, como o de ventilação protetora, que é definida pelo uso de um volume corrente limitado a 6 mL/kg (peso ideal) e uma pressão de platô que não exceda 30 cm H₂O.⁵ A importância desses conceitos é a necessidade de prevenir injúria pulmonar induzida pelo ventilador – *VILI*.

MODOS VENTILATÓRIOS MAIS USADOS —

A escolha do modo ventilatório deve ser baseada em função da gravidade do paciente e da sincronia paciente-ventilador. Nos últimos anos, novos modos ventilatórios surgiram, embora o impacto clínico da utilização desses novos modos seja pouco estudado.^{6,7}

Os modos ventilatórios estão relacionados à forma de disparo de ciclo inspiratório. Atualmente as formas mais utilizadas são a ciclagem a tempo, a fluxo e à pressão. Outra forma de ciclagem mais recente é o disparo elétrico, que ocorre pela detecção da variação da atividade elétrica do diafragma.

Ventilação controlada

Todos os ciclos ventilatórios são disparados e/ou ciclados pelo ventilador (ciclos mandatórios). Esse disparo é controlado pelo tempo, consequência do número de incursões respiratórias programadas para cada minuto. Assim, ao se programar 12 incursões respiratórias por minuto, um ciclo inicia-se a cada cinco segundos. O volume/pressão gerado, bem como o fluxo de ar, é programado pelo profissional de saúde.^{8,9}

Ventilação assistocontrolada

Nesse modo, o respirador permite que o paciente inicie um ciclo respiratório a qualquer momento. Assim, o paciente pode iniciar um ciclo assistido em

antecipação ao mandatório ou no decorrer deste. O ciclo assistido é iniciado quando o paciente, com seu próprio esforço, gera uma pressão negativa no sistema ou cria um fluxo no sentido contrário ao do sistema. Já o ciclo controlado (mandatório) é disparado a tempo, de acordo com a frequência respiratória (FR) programada. Por exemplo, se se programar uma FR de 12 incursões respiratórias por minuto (irpm), a cada cinco segundos um ciclo é disparado.

A ventilação assistocontrolada pode ocorrer com volume controlado ou pressão controlada. No primeiro caso, os ciclos mandatórios têm como variável de controle o volume. Ou seja, programa-se o volume corrente adequado para o paciente. A literatura atual recomenda programar 5 a 8 mL/kg de peso ideal. A relação entre a inspiração e expiração (I:E) para um dado volume dependerá da combinação deste com a FR e o tempo inspiratório (TI), que pode ser programado direta ou indiretamente com base no fluxo inspiratório. Assim, para uma FR de 20 irpm, tem-se um ciclo completo (inspiração e expiração) a cada três segundos. Se a relação I:E for de 1:2, tem-se um segundo para a inspiração e dois para a expiração. Ao reduzir-se o TI, automaticamente aumenta-se o tempo expiratório (TE), uma vez que o tempo total é fixo (no exemplo, três segundos). Se se aumentar o fluxo inspiratório, também se obterá o mesmo efeito, pois, ao fazê-lo, reduz-se o TI. O modo assistocontrolado ciclado a volume pode ser utilizado quando se deseja manter o volume minuto estável. É importante atentar que nesse modo a pressão nas vias aéreas é variável, sendo necessário monitorar a pressão de pico e a pressão de platô. Esse modo também é recomendado para a medida da pressão de pico e de platô, visando calcular a complacência e a resistência das vias aéreas sob um fluxo inspiratório constante e quadrado.^{8,9}

Já no caso da ventilação assistocontrolada por pressão controlada, os ciclos mandatórios são limitados à pressão, mas ciclados por tempo. Esse modo mantém a pressão limitada durante toda a fase inspiratória. O tempo inspiratório é fixo e predeterminado pelo profissional de saúde. Já o fluxo é livre e desacelerado, uma vez que, à medida que o ar vai entrando no pulmão, a diferença de pressão gerada pela máquina e a pressão pulmonar vão diminuindo. Assim, programa-se uma pressão que é gerada no início da inspiração e mantida por um tempo determinado, ao final do qual se abre a válvula expiratória do respirador e inicia-se a expiração. Novamente, a relação I:E é dada pela combinação da FR e TI. É importante atentar que, nesse modo, o volume corrente é variável e deve ser monitorado.

Modo espontâneo: pressão de suporte (PSV)

Esse é um modo espontâneo, no qual o paciente inicia o ciclo inspiratório com o esforço próprio ao negativar a pressão no sistema. Após esse evento, o respirador gera uma pressão, programada pelo médico, que é mantida constante durante todo o ciclo inspiratório. Essa diferença de pressão entre a máquina e o pulmão gera um fluxo de ar em direção ao pulmão. À medida que o ar entra nos pulmões, essa diferença de pressão diminui e o fluxo desacelera (o fluxo é livre e desacelerado). O respirador é ciclado (abre a válvula expiratória e permite que o paciente expire) quando o fluxo inspiratório cai geralmente a 25% do pico de fluxo inspiratório. Ventiladores mais modernos permitem determinar essa sensibilidade da porcentagem de ciclagem, o que permite reduzir o tempo inspiratório em pacientes obstrutivos e aumentar o tempo inspiratório em paciente restritivos.

Outro ajuste possível nos respiradores mais modernos é o *rise time*, que é o tempo que o respirador requer para atingir a pressão selecionada. Em pacientes com doenças restritivas, o *rise time* menos acelerado pode aumentar o volume corrente.⁹

Ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV) + PSV

Esse modo caracteriza-se por permitir, dentro da janela de tempo dos ciclos mandatórios controlados, a ocorrência de ciclos espontâneos assistidos.

Os ciclos mandatórios podem ser ciclados a volume ou a tempo limitados à pressão, associados a modo PSV, com ciclos espontâneos. Esse modo é cada vez menos utilizado, pois se mostrou associado a aumento do tempo retirada da ventilação. Seu uso se restringe àqueles pacientes nos quais é necessário garantir um volume-minuto mínimo no início da PSV (ex: neuropatas ou pacientes no despertar inicial de anestesia geral).^{8,9,10}

MODOS AVANÇADOS

Com a introdução e a evolução dos microprocessadores nos ventiladores mecânicos, a possibilidade de sofisticar os modos básicos tornou-se ampla, permitindo que novos métodos fossem desenvolvidos a

fim de reduzir as limitações presentes nos métodos básicos de ventilação mecânica. Nem todos os incrementos nos modos ventilatórios são necessariamente avanços e ainda existe pouca evidência quanto à eficácia e segurança de alguns desses novos métodos.^{11,12}

Volume controlado com pressão regulada

Esse é um modo ventilatório controlado ciclado a tempo e limitado à pressão. O ventilador ajusta o valor de pressão controlada, limitando a um nível abaixo do valor do alarme, objetivando atingir um volume corrente alvo. O ajuste de pressão é baseado no volume corrente expirado de cada ciclo anterior. Nesse modo o fluxo é livre e decrescente. É indicado quando se deseja o controle do volume corrente com pressão limitada e com ajustes automáticos da pressão inspiratória.^{9,10}

Ventilação com liberação de pressão nas vias aéreas (APRV – Airway Pressure-Release Ventilation)

É um modo espontâneo, limitado à pressão e ciclado a tempo. Utiliza-se o APRV quando há necessidade de manutenção da ventilação espontânea, do recrutamento alveolar com potencial melhora das trocas gasosas e redução do espaço morto e da assincronia.

Pressão de suporte com volume corrente garantido

Esse modo tem como objetivo assegurar o volume corrente num modo de suporte, ajustando a pressão para o alcançar esse volume predeterminado. É importante estar atento ao risco de elevados níveis de pressão inspiratória e aumento do tempo inspiratório.

Ventilação proporcional assistida

É um modo no qual o ventilador irá proporcionar assistência em modo espontâneo, sendo capaz de aumentar ou reduzir a pressão nas vias aéreas em proporção ao esforço do paciente. Esse modo determina a quantidade de suporte em relação ao esforço

do paciente, assistindo a ventilação com proporcionalidade uniforme entre o ventilador e o paciente.

Compensação automática do tubo

É um modo espontâneo que automaticamente compensa a resistência do tubo endotraqueal. A pressão aplicada é baseada no tamanho do tubo. Tem como objetivo diminuir a resistência imposta ao paciente pela via aérea artificial. Alguns estudos mostraram reduzido trabalho respiratório e mais conforto para o paciente nesse modo quando comparado ao modo PSV.^{9,13}

Ventilação assistida ajustada neuralmente (NAVA)

Esse modo captura a atividade elétrica do diafragma e a utiliza como critério para disparar e ciclar o ventilador, dando suporte inspiratório. O NAVA é uma alternativa à PSV para pacientes que apresentam assincronia significativa. Deste modo, tem o potencial de melhorar a interação paciente-ventilador. Para o funcionamento desse modo, é necessária a fixação de uma sonda esofágica para mensuração da atividade elétrica do diafragma.^{9,14,15}

PARTICULARIDADES DA VENTILAÇÃO MECÂNICA NO PEROPERATÓRIO

Aproximadamente 234 milhões de procedimentos cirúrgicos de grande porte são realizados em todo o mundo por ano. Desses, cerca de 2-6 milhões representam procedimentos de alto risco, sendo que 1-3 milhões de pacientes apresentam complicações graves e 315 mil morrem no hospital. A ventilação mecânica pode afetar diretamente a incidência de complicações pulmonares e extrapulmonares no pós-operatório.¹⁶

Diferentes mecanismos têm sido propostos para explicar os efeitos adversos da ventilação mecânica inadequada, entre eles a lesão pulmonar direta e a liberação de mediadores inflamatórios, que podem causar disfunção orgânica.^{5,16,17}

O estudo IMPROVE comparou o uso de ventilação protetora em pacientes de médio e alto risco *versus* o uso de ventilação não protetora. Os resultados de-

mostraram que, nos pacientes submetidos à cirurgia abdominal de maior porte, o uso de ventilação protetora foi associado a melhor desfecho, com menos complicações pulmonares e extrapulmonares nos primeiros sete dias e menor proporção de pacientes que necessitaram de assistência ventilatória no pós-operatório. Entretanto, não houve diferença estatística na mortalidade e na taxa de reinternação na unidade de terapia intensiva nos primeiros 30 dias.^{18,19}

Já o estudo PROVHILLO comparou o efeito da PEEP nas complicações pulmonares no pós-operatório. Neste estudo observou-se que, usando-se ventilação mecânica protetora (volumes baixos) em pacientes no peroperatório de cirurgia abdominal aberta, o uso de PEEP alta e de manobras de recrutamento não reduziu a incidência de complicações pós-operatórias e foi associado a elevada incidência de instabilidade hemodinâmica quando comparado ao uso de PEEP baixa sem manobras de recrutamento.^{16,17}

Desses estudos conclui-se que, durante o peroperatório, devem-se usar volumes correntes baixos (6 mL/kg de peso ideal), pressão de platô limitada (30 cmH₂O) e PEEP baixa (até 5 cmH₂O) e não utilizar, como rotina, manobras de recrutamento.

CONCLUSÕES

O entendimento da mecânica ventilatória proporciona ao médico uma visão mais profunda de ventilação mecânica, permitindo que ele seja capaz de resolver problemas relacionados à interação paciente-máquina de forma mais eficaz.

Em concordância com a literatura, usar volumes correntes baixos no per-operatório foi associado a melhor desfecho. Por outro lado, apesar da ocorrência comum de atelectasias nesse contexto, não foi observado benefício no uso de PEEP alta e recrutamento no peroperatório.

Mais estudos são necessários para comprovar que os modos avançados resultam em melhores desfechos para os pacientes em ventilação mecânica.

REFERÊNCIAS

1. Carvalho CRR, Toufen Junior C, Franca SA. Ventilação mecânica: princípios, análise gráfica e modalidades ventilatórias. J Bras Pneumol. 2007 jul; 33(Suppl 2):54-70 [Citado em 2014 out. 21]. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-

2. Damasceno MP, David CM, Souza PC, Chavone PA, Cardoso LT, Amaral JL. Ventilação mecânica no Brasil. Aspectos Epidemiológicos. RBTI. 2006; 18(3):219-28.
3. Nardelli LM, Garcia CSN, Passaro CP, Rocco PR. Entendendo os mecanismos determinantes da Lesão Pulmonar Induzidos pela VM. RBTI. 2007; 19(4):469-74.
4. Karcz M, Vitkus A, Papadakis PJ, Schwaiblmair F, Lachmann B. State of the art mechanical Ventilation. J Cardiothorac Vasc Anesth. 2012 Jun; 26(3):486-506.
5. Fernandez Perez ER, Sprung J, Afessa B, Warner DO, Vachon CM, Schroeder DR, *et al.* Intraoperative ventilator settings and acute lung injury after surgery: a nested case control study. Thorax. 2009; 64:121-7.
6. Branson R. Understanding and implementing advances in ventilator capabilities. Curr Opin Crit Care. 2004 Feb; 10(1):23-32.
7. Calfee CS, Matthay MA. Recent advances in mechanical ventilation. Am J Med. 2005 Jun; 118(6):584-91.
8. MacIntyre NR. Patient-ventilator interactions: optimizing conventional ventilation modes. Respir Care. 2011 Jan; 56(1):73-84.
9. Associação de Medicina Intensiva Brasileira-AMIB, Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia -SBPT Diretrizes Brasileiras de Ventilação Mecânica 2013. [Citado em 2014 out. 20]. Disponível em: http://itarget.com.br/newclients/sbpt.org.br/2011/downloads/arquivos/Dir_VM_2013/Diretrizes_VM2013_SBPT_AMIB.pdf
10. Mireles-Cabodevila E, Hatipoglu U, Chatburn RL. A rational framework for selection modes of Ventilation. Respir Care. 2013 Feb; 58(2):348-66
11. Chatburn RL. Classification of ventilator modes: update and proposal for implementation. Respir Care. 2007 Mar; 52(3):301-23.
12. Tukha A, Borte A, Singh PM. Newer nonconventional modes of mechanical ventilation. J Emerg Trauma Shock. 2014 Jul/Sep; 7(3):222-7.
13. Al-Hegelan M, Macintyre NR. Novel modes of mechanical ventilation. Semin Respir Crit Care Med. 2013 Aug; 34(4):499-507.
14. Sinderby C, Beck J. Proportional assist ventilation and neurally adjusted ventilatory assist: better approaches to patient ventilator synchrony? Clin Chest Med. 2008; 29:329-42.
15. Kacmarek R. Proportional assist ventilation and neurally adjusted ventilatory assist. Respir Care. 2011; 56:140-8.
16. The Prove Network Investigators for the clinical Trial Network of the European Society of Anaesthesiology. High versus low positive end expiratory pressure during general anaesthesia for open abdominal surgery (PROVHILO trial): a multicentre randomized controlled trial. Lancet. 2014 Aug 9; 384(9942):495-503.
17. Hemmes SN, Severgnini P, Jaber S, Canet J, Wrigge H, Hiesmayr M, *et al.* Rational and study design of PROVHILO – a worldwide multicenter randomized controlled trial on protective ventilation during general anesthesia for open abdominal surgery. Trials. 2011 May 6; 12:111.
18. Futier E, Constantin JM, Burz CP, Pascal J, Ewin M, Newschamandes A, Marret E, *et al.* A trial of intraoperative low tidal volume ventilation in abdominal surgery. N Engl J Med. 2013 Aug 1; 369:428-37.
19. Chaiwat O, Vavilala MS, Philip S, Malakouti A, Neff MJ, Deem S, *et al.* Intraoperative adherence to a low tidal volume ventilation strategy in critically ill patients with preexisting acute lung injury. J Crit Care. 2011 Apr; 26(2):144-51.
20. Serpa Neto A, Cardoso SO, Manetta JA, Pereira VG, Espósito DC, Pasqualucci MO, *et al.* Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: a meta-analysis. JAMA. 2012 Oct 24; 308(16):1651-9.