

Artigo original

Ventilação assistida proporcional plus: uma atualização

Proportional assist ventilation plus: an update

Lara P. Couto¹, Carmen S. V. Barbas^{1,2}

RESUMO

Acreditávamos que a assincronia paciente-ventilador ocorresse exclusivamente em modos mandatórios de ventilação. Na última década, muitos trabalhos vêm mostrando que assincronia também ocorre nos modos espontâneos, como pressão de suporte. Isso porque os modos ventilatórios convencionais são estáticos, enquanto o paciente é um ser dinâmico que está em constante adaptação. O paciente apresenta demanda ventilatória variável, realizando contrações diafragmáticas de amplitudes diferentes e apresentando alterações constantes em sua mecânica respiratória, como complacência, elastância, resistência e pressão expiratória final positiva intrínseca ao longo do tempo, o que torna o ajuste na ventilação um grande desafio para o profissional.

Realizar ajustes abaixo ou acima da necessidade do paciente gera assincronia com implicações clínicas importantes que podem prejudicar a evolução no desmame, em especial o ajuste excessivo, que é de difícil percepção clínica e que pode provocar atrofia diafragmática e lesão muscular respiratória, que dificultará a extubação do paciente.

Isso justifica a busca por novas tecnologias que permitam uma maior interação entre o paciente e o ventilador de maneira que o ventilador seja capaz de se adaptar ao dinamismo do paciente. A ventilação assistida proporcional plus visa atingir esse objetivo; para tanto devemos conhecer seu funcionamento e realizar uma atualização sobre a literatura existente.

Descritores: Respiração artificial; Desmame do respirador; Suporte ventilatório interativo; Mecânica respiratória.

ABSTRACT

We long believed that patient ventilator asynchrony occurred exclusively in mandatory modes of ventilation. However, in the last decade, many studies have shown that asynchrony also occurs in spontaneous modes such as pressure support. This is because the conventional ventilation modes are static, whereas patient behavior is dynamic. Patients present variable ventilatory demand, diaphragmatic contractions being of various amplitudes, and continuous alterations in the parameters of respiratory mechanics, such as compliance, elastance, resistance, and intrinsic PEEP over time. This make the adjustment of ventilatory support a major challenge for medical professionals.

Making adjustments that are excessive or insufficient in relation to the needs of the patient creates asynchrony, which can have major clinical implications that can affect the weaning from mechanical ventilation. Excessive adjustment, which is clinically difficult to detect, can cause diaphragmatic atrophy and respiratory muscle weakness, delaying extubation. This justifies the quest for new technologies that allow greater interaction between the patient and the ventilator so that the ventilator can adapt to the dynamism of the patient. Proportional assist ventilation plus (PAV+) is a novel mode of assisted ventilation that aims to achieve the best interaction between the patient and the ventilator. Here, we present how PAV+ works in clinical practice, together with a review of the literature on this topic.

Keywords: Respiration, artificial; Ventilator weaning; Interactive ventilatory support; Respiratory mechanics.

1. Disciplina de Pneumologia, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

2. Unidade de Terapia Intensiva Adultos, Hospital Israelita Albert Einstein, São Paulo (SP) Brasil.

Não há qualquer conflito de interesse entre os autores.

Endereço para correspondência: Carmen Sílvia Valente Barbas. Avenida Dr. Enéas de Carvalho Aguiar, 44, 2º andar. CEP: 05403-900, São Paulo, SP, Brasil. Tel. 55 11 3069-5803. E-mail: carmen.barbas@gmail.com.

INTRODUÇÃO

O modo de ventilação conhecido como *proportional assisted ventilation plus* (PAV+, ventilação assistida proporcional plus) é um modo espontâneo de ventilação mecânica invasiva que oferece suporte ventilatório sincronizado. O ventilador gera assistência proporcional e instantânea aos esforços do paciente, funcionando como um amplificador de esforços inspiratórios (1,2). Na PAV+, os parâmetros ofertados são comandados pelo centro respiratório do paciente, enquanto o ventilador descarrega uma porcentagem do trabalho feito pelo mesmo (2,3).

O modo PAV+ é considerado o modo ventilatório mais fisiológico existente por três razões: devolve o controle ventilatório ao centro respiratório do paciente, oferece a ajuda necessária para o paciente manter sua ventilação realizando um nível ótimo de trabalho e não necessita de uma intervenção invasiva adicional, como a introdução de sondas, balões ou cateteres esofágicos. Seu uso é viável na prática clínica (4).

Suas principais vantagens são a sincronia com os esforços inspiratórios e a adaptabilidade da assistência às alterações na demanda ventilatória e na impedância do sistema (2).

Para tanto, o ventilador precisa conhecer o esforço feito pelo paciente, que é representado pela pressão muscular (P_{mus}) na equação do movimento.

$$P_{mus} = (FI \times R_{TE}) + (FI \times R_p) + (V_T \times E_p)$$

onde FI é o fluxo inspiratório, R_{TE} é a resistência do tubo endotraqueal ou de traqueostomia, R_p é a resistência pulmonar, V_T é o volume corrente, e E_p é a elastância pulmonar, que é o inverso da complacência pulmonar.

Se o ventilador conhecer todas as variáveis do lado direito da equação, determinará a P_{mus} (2,3).

O modo PAV+ compensa a resistência do tubo e mede o fluxo inspiratório a cada 5 ms. Como o fluxo projetado no tempo é o volume, o ventilador já conhece FI, R_{TE} e V_T , necessitando conhecer R_p e E_p . Para isso, são realizadas medidas de pausa inspiratória através de microplatôs com duração de 300 ms (2), que ocorrem de maneira automática e aleatória entre 4 e 10 incursões e que também compensam a *positive end-expiratory pressure* (PEEP, pressão expiratória final positiva) e a PEEP intrínseca (Figura 1).

Dessa forma, o ventilador conhece todas as variáveis, é capaz de determinar P_{mus} e descarregar uma porcentagem do trabalho realizado pelo paciente (3).

O trabalho é descarregado através de uma proporção ajustada pelo clínico, chamada de porcentagem de apoio (%Apoio), que é uma divisão do trabalho respiratório entre o paciente e o ventilador. Esse ajuste vai de 5% a 95% (2). Se pudéssemos ajustar a 100%, o ventilador faria todo o trabalho, o que descaracterizaria um modo espontâneo, enquanto o ajuste

a 0% significaria que o paciente é capaz de realizar o trabalho respiratório sozinho, não necessitando de ventilador (3).

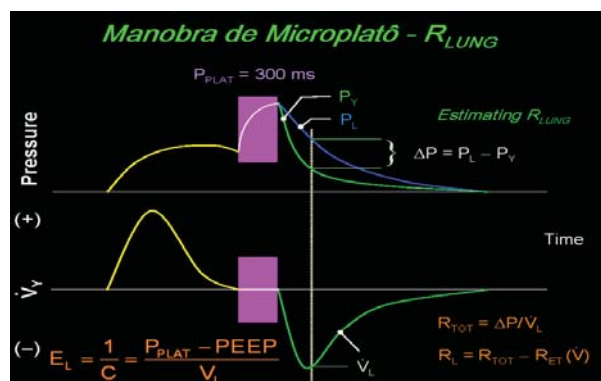


Figura 1 - Manobra de microplatô de 300 ms com fluxo zero, realizando o cálculo da elastância (E_L) e da resistência (R_L).

Para saber se o ajuste da %Apoio está adequado, monitoramos o *work of breathing* (WOB, trabalho respiratório) de maneira não invasiva através de uma barra gráfica (Figura 2). Visualizamos o WOB total e o WOB feito pelo paciente (WOB_{PT}), mantendo a proporcionalidade de apoio ajustado. O objetivo é manter WOB_{PT} entre 0,3 e 0,7 J/L, que é o nível ótimo de trabalho. Abaixo de 0,3 J/L, o paciente está recebendo muita ajuda do ventilador e pode desenvolver atrofia muscular. Acima de 0,7 J/L, o paciente está trabalhando acima da sua capacidade, recebendo pouca ajuda e corre risco de fadiga (1-3).

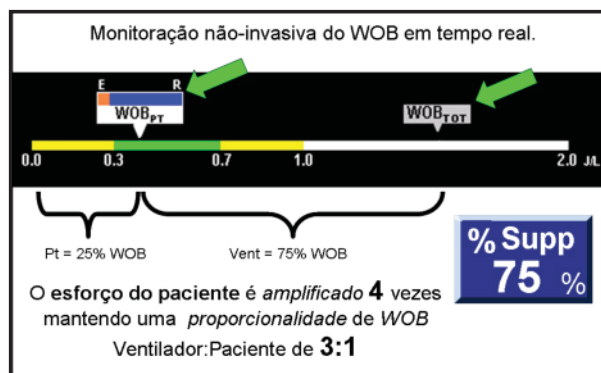


Figura 2 - Barra gráfica de *work of breathing* (WOB, trabalho respiratório) em PAV+. O WOB total (WOB_{TOT}) é o WOB do paciente (WOB_{PT}) + o WOB do ventilador.

PAV+ E SINCRONIA PACIENTE-VENTILADOR

A sincronia perfeita entre o paciente e o ventilador ocorre quando o início da contração diafragmática e o disparo do ventilador coincidem e quando o início do relaxamento diafragmático e a ciclagem do ventilador coincidem (5). Também devemos considerar o tempo de resposta do ventilador (2).

A assincronia normalmente decorre de um atraso na resposta do ventilador, que pode ser no disparo e o ventilador dispara quando inicia o relaxamento dia-

fragmático e/ou na ciclagem, reduzindo o tempo expiratório e mantendo o paciente sob hiperinsuflação, com consequente ineficácia do disparo subsequente, ou seja, o ventilador não dispara por não perceber o esforço do paciente.

Independentemente do fator desencadeante, a assincronia se torna um ciclo no qual o atraso no disparo favorece o atraso na ciclagem, que favorece a não detecção de esforços diafragmáticos e causa lesão muscular (6). Como consequências, ocorrem o desconforto e a descompensação do paciente de difícil reversão somente com o manejo ventilatório. Normalmente nesses casos, após inúmeras tentativas de melhorar o conforto do paciente sem sucesso, opta-se por sedá-lo, e o processo de desmame é regredido, não porque o paciente não estivesse apto para prosseguir-lo, mas sim pelo seu desgaste causado pela insensibilidade do modo ventilatório de acompanhar a sua dinâmica fisiológica (Figura 3).

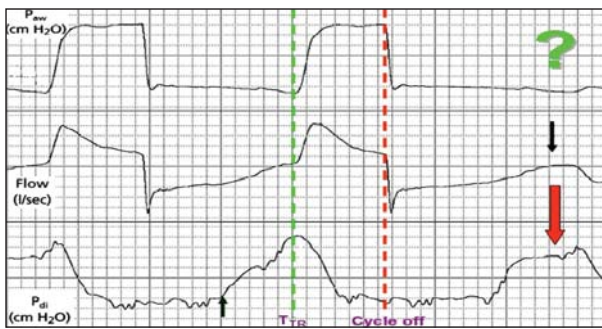


Figura 3 - Assincronia grave paciente-ventilador. A pequena seta para cima mostra o início da contração diafragmática, mas o ventilador somente dispara na linha pontilhada (T_{TR}), que praticamente coincide com o final da contração do diafragma. O ventilador cicla na linha pontilhada (*Cycle off*), acarretando em diminuição do tempo expiratório. Quando o diafragma realiza uma nova contração, o ventilador não dispara, pois o paciente está hiperinsuflado (a curva de fluxo ainda não retornou à linha de base), ou seja, ocorreu um esforço diafragmático ineficaz. Podemos observar que paciente e ventilador estão em fases opostas; enquanto um está na fase inspiratória, o outro está na expiratória e vice-versa.

P_{aw} : pressão nas vias aéreas; P_{di} : pressão diafragmática; e Flow: fluxo. Adaptado de Brochard et al. (5)

Esse nível de assincronia é comum quando o suporte oferecido é maior do que a necessidade do paciente e quando o paciente apresenta distúrbio obstructivo (6). Consequentemente, teremos o ventilador e o paciente em fases opostas; enquanto um inspira, o outro expira e vice-versa, com perda de esforços diafragmáticos, desconforto do paciente, necessidade de sedação e aumento do tempo de intubação. Esse mecanismo é frequente em *pressure support ventilation* (PSV, pressão de suporte); já em PAV+, observamos melhor sincronia quantitativa — para cada esforço diafragmático há um disparo do ventilador — e qualitativa — a resposta do ventilador é proporcional ao esforço

feito pelo paciente (5), ou seja, se há maior esforço, há maior assistência (Figura 4).

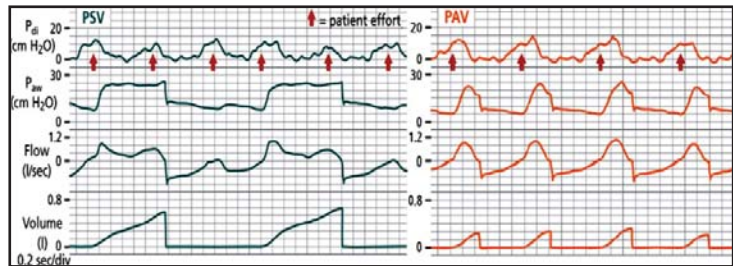


Figura 4 - Paciente em modo *pressure support ventilation* (PSV) apresenta assincronia grave de 3:1 (3 esforços diafragmáticos para 1 disparo do ventilador) e, quando colocado em *pressure assist ventilation* (PAV) para manter os mesmos parâmetros, melhora a sincronia quantitativa e qualitativa.

Adaptado de Brochard et al. (5)

ATUALIZAÇÃO DA LITERATURA

Em PSV, podem ocorrer dois ou mais esforços diafragmáticos dentro de um mesmo ciclo inspiratório enviado pelo ventilador. As contrações diafragmáticas ineficazes estão relacionadas à lesão muscular e ocorrem muito raramente em PAV (7).

Segundo um estudo, a assincronia grave acontece em 24% dos pacientes e aumenta, em média, 18 dias de permanência na ventilação mecânica (5).

A assincronia aumenta de 2 a 3 vezes o tempo de ventilação mecânica. Reduzi-la traz benefícios clínicos aos pacientes e diminui significativamente os custos de internação hospitalar (5,7).

O modo PAV+ é seguro e eficiente, podendo ser usado na maioria dos pacientes em unidades de terapia intensiva (UTI) com critérios para ventilação espontânea. Quando comparada a PSV, o modo PAV+ aumenta a probabilidade de permanência em modos espontâneos e reduz consideravelmente a assincronia (8).

A assincronia é muito comum em modo PSV e em *volume controlled ventilation* (VCV, ventilação em volume controlado), e a sincronia em PAV+ é superior quando comparado a esses modos (6,7,9).

A assincronia interrompe o sono dos pacientes. Por ser mais sincrônico, PAV+ melhora a qualidade de sono dos mesmos (10).

O modo PAV+ realiza ciclagem sincronizada com o paciente; em PSV, a sincronização da ciclagem varia com o nível de esforço realizado pelo paciente e com a mecânica respiratória (11,12).

Pacientes com bom nível de consciência e acordados relataram maior conforto em PAV+ do que em PSV (13,14).

A monitoração contínua da resistência e da complacência ajuda a acompanhar a progressão de doença e a identificar complicações em tempo real, como por exemplo, presença de edema pulmonar, acúmulo de secreções e broncoespasmo, bem como é possível avaliar o efeito terapêutico de intervenções realizadas. Se a condição de um paciente piorar, é possível identificar

se isso foi em decorrência de um comprometimento resistivo ou elástico, o que nos auxilia na avaliação e no tratamento. Também permite um melhor acompanhamento da PEEP e a detecção prévia e o gerenciamento de complicações (2).

O modo PAV+ acompanha o dinamismo do paciente e é capaz de se adaptar ao aumento do esforço realizado pelo mesmo, enquanto o modo PSV não o é. A função cardíaca e o retorno venoso melhoram em PAV+ quando comparado a VCV (15,16).

Um estudo multicêntrico confirmou a confiabilidade de PAV+ através de cateter esofágico (17).

Estudos experimentais com pulmão mecânico revelaram que PAV+ é capaz de detectar alterações de resistência, de complacência e de demanda, compensando-as de maneira dinâmica. Níveis de 25-80% de apoio corresponderam, para diversas simulações, a valores pressóricos de 5-25 cmH₂O e V_T de 3,5-8,0 ml/kg. Por isso, o modo PAV+ mostrou-se seguro e eficaz na detecção de alterações e na compensação das mesmas de maneira dinâmica e mais fisiológica (18-21).

Em um estudo em humanos, demonstrou-se que PAV+ com %Apoio de 65% e 50% pode ser utilizado com segurança em pacientes em UTI, estáveis, que estavam sob ventilação mecânica em PSV ≤ 15 cmH₂O, mantendo níveis adequados de ventilação pulmonar e de trocas gasosas (22).

A adaptação de pacientes a PAV+ é rápida, e há a manutenção de níveis adequados de V_T, frequência respiratória, capnografia e pressão arterial média ao longo do tempo (23).

O modo PAV+ apresenta a frequência respiratória real do paciente, pois para cada contração diafragmática, há um disparo do ventilador; por isso, aceitam-se frequências respiratórias maiores sem serem consideradas como desconforto respiratório (7,24). Para a frequência respiratória aumentada ser considerada como desconforto em PAV+, essa deve estar associada a outros sinais e sintomas; taquipneia isolada de até 50 ciclos/min não é considerada desconforto. Também se aceitam valores de V_T menores. Normalmente, os pacientes apresentam V_T menores e frequências maiores em PAV+ do que quando em PSV, e isso se deve ao fato de haver uma grande tendência de hiperventilação nos pacientes em PSV, que acabam realizando V_T superior ao desejado pelo seu centro respiratório e frequências respiratórias menores do que o real devido à presença de esforços diafragmáticos ineficazes e assincronia ventilatória. Para pacientes com tendência

à hipoventilação, como obesos, pacientes com anormalidades abdominais e pacientes com síndrome de desconforto respiratório agudo, aceitam-se V_T de 3-4 ml/kg de peso ideal corporal em PAV+ (8).

Os benefícios esperados com PAV+ são melhora da sincronia paciente-ventilador (5,7,9); redução do uso de sedativos e suas complicações (25); melhora da qualidade do sono dos pacientes em UTI, que acarreta melhora da pressão arterial, melhora da imunidade e redução da morbidade (26); maior proteção pulmonar devido a níveis mais fisiológicos de V_T e melhor interpretação da taquipneia dos pacientes (27,28); redução da atrofia muscular (2); redução da lesão muscular (29,30) e monitoração contínua (2).

As limitações esperadas são o uso de PAV+ na presença de vazamentos devido à possibilidade de erro de medidas; portanto, pacientes com fístula broncopulmonar e pacientes com tubos sem *cuff* não devem ser submetidos a PAV+, assim como pacientes sem *drive* respiratório. O fenômeno de sobreassistência (*runaway*) foi praticamente abolido em PAV+, que também apresenta outras melhorias, como a monitoração contínua da impedância, monitoração do WOB, ajuste da %Apoio, ajuste de limites e alarmes mais adequados (2).

Pacientes que cursam com hiperinsuflação dinâmica, como os portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica, se beneficiam com o uso do PAV+, pois seu algoritmo compensa a PEEP intrínseca (9,14,24). Os pacientes permanecem confortáveis em PAV, mesmo os portadores de doença pulmonar obstrutiva crônica grave (27,28).

Devemos ter cautela para utilizar PAV+ em pacientes com síndromes que cursam com paralisia diafragmática, mesmo se mantiverem preservado o *drive* respiratório. A avaliação clínica e um acompanhamento criterioso são importantes e necessários nesses casos, uma vez que, durante a paralisia, não é gerada P_{mus} e o funcionamento do modo pode ser comprometido. Ainda não foram publicadas pesquisas sobre esse assunto, e relatos de usuários são controversos quanto à utilização de PAV+ nesses casos.

Também ainda não existem pesquisas que mostrem que PAV+ reduz a mortalidade de pacientes (3). Porém, isso não diminui a importância da possibilidade de que esse modo oferece na melhora do conforto dos pacientes e na otimização do desmame, reduzindo o tempo de intubação e, portanto, reduzindo os riscos e custos associados à permanência em ventilação mecânica e UTI.

REFERÊNCIAS

1. Younes M. Proportional assist ventilation, a new approach to ventilatory support: Theory. *Am Ver Respir Dis.* 1992, 145:114-20.
2. Younes M. Proportional Assist Ventilation. In: Tobin MJ. *Principles and practice of mechanical ventilation.* Edition: 2, McGraw-Hill Professional. 2006, 335-364.
3. Tran D, Sassooun CS, Murgu S. Alternative Invasive Positive Ventilatory Strategies. *Clin Pulm Med.* 2008, 15(4): 210-17.
4. Younes M. Proportional assist ventilation. In: Tobin M, editor. *Principles and practice of mechanical ventilation.* New York: McGraw-Hill. 1994, 349-70.
5. Brochard L, Lellopuche F, Cabello B, Rodriguez P, Thille AW. Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. *Intensive Care Med.* 2006, 32: 1512-22.
6. Leung P, Jubran A, Tobin MJ. Comparison of assisted ventilator

- modes on triggering, patient effort and dyspnea. *Am J Respir Crit Care Med.* 1997, 155:1940-8.
7. Giannouli E, Webster K, Roberts D, Younes M. Response of ventilator-dependent patients to different levels of pressure support and proportional assist. *Am J Respir Crit Care Med.* 1999, 159:1716-25.
 8. Georgopoulos D, Xirouchaki N, Kondili E, et al. Proportional assist ventilation with load-adjustable gain factors in critically ill patients: comparison with pressure support. *Intensive Care Med.* 2008.
 9. Passam F, Hoing S, Prinianakis G, et al. Effect of different levels of pressure support and proportional assist ventilation on breathing pattern, work of breathing and gas exchange in mechanically ventilated hypercapnic COPD patients with acute respiratory failure. *Respiration.* 2003, 70:355-61.
 10. Bosma K, Ferreyra G, Ambrogio C, Pasero D, Ranieri M, et al. Patient-ventilator interaction and sleep in mechanically ventilated patients: pressure support versus proportional assist ventilation. *Crit Care Med.* 2007, 35: 1048-1054.
 11. Du HL, Ohtsuiji M, Shigeta M, et al. Expiratory asynchrony in propotional assist ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002, 165:972-7.
 12. Younes M. Patient-ventilator interaction with pressure-assisted modalities of ventilatory support. *Semin Respir Med.* 1993, 14:299-322.
 13. Wysocki M, Richard JC, Meshaka P. Noninvasive proportional assist ventilation compared with noninvasive pressure support ventilation in hypercapnic acute respiratory failure. *Crit Care Med.* 2002, 30:323-9.
 14. Fernandez-Vivas M, Cturla-Such J, Gonzalez de la Rosa J, et al. Noninvasive pressure support versus proportional assist ventilation in acute respiratory failure. *Intensive Care Med.* 2003, 29:1126-33.
 15. Grasso S, Puntillo F, Mascia L, et al. Compensation for increase in respiratory workload during mechanical ventilation: Pressure-support versus proportional-assist ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000, 161:819-26.
 16. Ranieri VM, Giuliani R, Mascia L, et al. Patient-ventilator interaction during acute hypercapnia: Pressure-support vs proportional assist ventilation. *J Appl Physiol.* 1996, 81:426-36.
 17. Grasso S, Ranieri WM, Brochard L, et al. Closed loop proportional assist ventilation (PAV): Results of a phase II multicenter trial. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001, 163:A303.
 18. Couto LP, Hovnanian, A, Vicente RN, Caruso P, Amato MBP, Carvalho CRR, Barbas CSV. Efficacy of PAV PLUS ventilation at different respiratory efforts in a lung model. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008, 177: A374.
 19. Couto LP, Hovnanian, A, Vicente RN, Caruso P, Amato MBP, Carvalho CRR, Barbas CSV. Efficacy of PAV PLUS ventilation at different respiratory compliances in a lung model. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008, 177: A374.
 20. Couto LP, Hovnanian, A, Vicente RN, Caruso P, Amato MBP, Carvalho CRR, Barbas CSV. Efficacy of PAV PLUS ventilation at different respiratory resistances in a lung model. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008, 177: A374.
 21. Couto LP, Hovnanian, A, Vicente RN, Caruso P, Amato MBP, Carvalho CRR, Barbas CSV. Necessity of high levels of inspiratory efforts in conditions of high resistance with PAV PLUS in a lung model. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008, 177: A374.
 22. Hovnanian A, Vicente RN, Hirota A, Couto LP, Caruso P, Amato MBP, Carvalho CRR, Thompson A, Gago F, Serafim R, Saddy F, Barbas CSV. Clinical application of the new PAV PLUS ventilatory mode in mechanically ventilated ICU patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008, 177: A388.
 23. Vicente RN, Hovnanian A, Hirota A, Couto LP, Caruso P, Amato MBP, Carvalho CRR, Thompson A, Gago F, Serafim R, Saddy F, Barbas CSV. Clinical adaptation to PAV PLUS of 65% and 50% in mechanically ventilated ICU patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 2008, 177: A388.
 24. Polese G, Vitacca M, Bianchi L, et al. Nasal proportional assist ventilation unloads the inspiratory muscles of stable patients with hypercapnia due to COPD. *Eur Respir J.* 2000, 16:491-8.
 25. Kress JP, Pohlman AS, O'Connor MF, Hall JB. Daily interruption of sedative infusions in critically ill patients undergoing mechanical ventilation. *New Engl J Med.* 2000, 342:1471-7.
 26. Parthasarathy S, Tobin MJ. Sleep in the intensive care unit. *Intensive Care Med.* 2004, 30:197-206.
 27. Lessard MR, Lofaso F, Brochard L. Expiratory muscle activity increases intrinsic positive end-expiratory pressure independently of dynamic hyperinflation in mechanically ventilated patients. *Am J Respir Crit Care Med.* 1995, 151:562-9.
 28. Zakyntinos SG, Vassilakopoulos T, Zakyntinos E, et al. Contribution of expiratory muscle pressure to dynamic intrinsic positive end-expiratory pressure: Validation using the Campbell diagram. *Am J Respir Crit Care Med.* 2000, 162:1633-40.
 29. Van Der Meulen JH, McArdle A, Jackson MJ, Faulkner JA. Contraction-induced injury to the extensor digitorum longus muscles of rats: The role of vitamin E. *J Appl Physiol.* 1997, 83:817-23.
 30. Devor ST, Faulkner JA. Regeneration of new fibers in muscles of old rats reduces contraction-induced injury. *J Appl Physiol.* 1999, 87:750-6.