

# Artigo Original

## Adaptação do Bird Mark 7 para oferta de pressão positiva contínua nas vias aéreas em ventilação não-invasiva: estudo em modelo mecânico\*

Adapting the Bird Mark 7 to deliver noninvasive continuous positive airway pressure: a bench study

Beatriz Mayumi Kikuti<sup>1</sup>, Karen Utsunomia<sup>1</sup>, Renata Potonyacz Colaneri<sup>1</sup>, Carlos Roberto Ribeiro de Carvalho<sup>2</sup>, Pedro Caruso<sup>3</sup>

### Resumo

**Objetivo:** Testar a eficiência da adaptação do ventilador Bird Mark 7 para oferecer pressão positiva contínua nas vias aéreas, conhecida como *continuous positive airway pressure* (CPAP) em inglês, em ventilação não-invasiva. **Métodos:** Estudo experimental utilizando um modelo mecânico do sistema respiratório. O Bird Mark 7 foi alimentado com 400 e 500 kPa e foi testado em CPAP de 5, 10 e 15 cmH<sub>2</sub>O. Para avaliar a eficiência da adaptação foram analisados os seguintes variáveis: diferença entre a CPAP pré-determinada e a CPAP realmente atingida (CPAPreal); área da pressão da via aérea sob o nível de CPAP ajustado (ÁREA<sub>CPAP</sub>); e volume corrente gerado. **Resultados:** A adaptação do Bird Mark 7 para oferecer CPAP em ventilação não-invasiva conseguiu atingir o volume corrente esperado em todas as situações de esforço inspiratório (normal ou elevado), pressão de alimentação (400 ou 500 kPa) e valor de CPAP (5, 10 ou 15 cmH<sub>2</sub>O). Para os CPAPs de 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O, o CPAPreal foi muito próximo do pré-determinado, e a ÁREA<sub>CPAP</sub> teve valor próximo de zero. Para o CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O, o CPAPreal ficou abaixo do pré-determinado, e a ÁREA<sub>CPAP</sub> teve valor elevado. **Conclusão:** A eficiência da adaptação do Bird Mark 7 para oferecer CPAP em ventilação não-invasiva foi boa para os valores de CPAP de 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O e insuficiente para CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O. Se adaptado como em nosso estudo, o Bird Mark 7 pode ser uma opção para oferta de CPAP até 10 cmH<sub>2</sub>O em locais onde equipamentos de ventilação não-invasiva são escassos ou inexistentes.

**Descritores:** Respiradores mecânicos; Respiração com pressão positiva; Pressão positiva contínua nas vias aéreas.

### Abstract

**Objective:** To test the efficiency of the Bird Mark 7 ventilator adapted to deliver continuous positive airway pressure (CPAP) in noninvasive positive pressure ventilation. **Methods:** This was an experimental study using a mechanical model of the respiratory system. A Bird Mark 7 ventilator was supplied with 400 and 500 kPa and tested at CPAP of 5, 10 and 15 cmH<sub>2</sub>O. The following variables were analyzed: difference between the preset CPAP and the CPAP actually attained CPAP (trueCPAP); area of airway pressure at the CPAP level employed (AREA<sub>CPAP</sub>); and tidal volume generated. **Results:** Adapting the Bird Mark 7 to offer CPAP achieved the expected tidal volume in all situations of inspiratory effort (normal or high), ventilator pressure supply (400 or 500 kPa) and CPAP value (5, 10 or 15 cmH<sub>2</sub>O). At a CPAP of 5 or 10 cmH<sub>2</sub>O, the trueCPAP was near the preset level, and the AREA<sub>CPAP</sub> was near zero. However, at a CPAP of 15 cmH<sub>2</sub>O, the value remained below the preset, and the AREA<sub>CPAP</sub> was high. **Conclusion:** The efficiency of Bird Mark 7 adaptation in offering CPAP was satisfactory at 5 and 10 cmH<sub>2</sub>O but insufficient at 15 cmH<sub>2</sub>O. If adapted as described in our study, the Bird Mark 7 might be an option for offering CPAP up to 10 cmH<sub>2</sub>O in areas where little or no equipment is available.

**Keywords:** Ventilators, mechanical; Positive-pressure respiration; Continuous positive airway pressure.

### Introdução

A pressão positiva contínua nas vias aéreas, conhecida em inglês como *continuous positive airway pressure* (CPAP) é a forma de ventilação não-invasiva (VNI) mais simples e de eficiência comprovada em várias situações de insuficiência respiratória como edema agudo de pulmão e doença pulmonar obstrutiva crônica.<sup>(1-4)</sup> O modo CPAP pode ser

\* Trabalho realizado no Laboratório de Mecânica Pulmonar (LIM09) da Disciplina de Pneumologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

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

2. Professor Associado de Pneumologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

3. Médico Assistente da UTI Respiratória do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, São Paulo (SP) Brasil.

Endereço para correspondência: Pedro Caruso. Avenida Dr. Eneas de Carvalho Aguiar, 255, Sala 7079, Secretaria da Pneumologia, Cerqueira Cesar, CEP 05403-000, São Paulo, SP, Brasil.

Tel 55 11 3069-7578. E-mail: pedrocaruso@uol.com.br

Recebido para publicação em 2/4/2007. Aprovado, após revisão, em 25/6/2007.

Apoio da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP 05/60645-9 e 05/60615-2).

oferecido através de diferentes equipamentos, tais como: ventiladores para ventilação invasiva adaptados para VNI, ventiladores específicos para VNI e geradores de fluxo contínuo.<sup>(1,5)</sup> Infelizmente, equipamentos específicos para VNI não estão disponíveis em vários hospitais, especialmente naqueles localizados em áreas mais carentes. Recentemente, um estudo mostrou que nos hospitais públicos da região metropolitana de São Paulo predomina a adaptação de ventiladores para a oferta de VNI.<sup>(6)</sup>

O ventilador Bird Mark 7 é mais barato que os ventiladores convencionais, não requer eletricidade e é bastante comum nos hospitais brasileiros. Empiricamente, vários profissionais adaptam o Bird Mark 7 para oferecer CPAP em VNI.<sup>(7)</sup> No entanto, a eficiência dessa adaptação nunca foi estudada. Portanto, o conhecimento da maneira correta de adaptá-lo e a comparação de seu desempenho com o de equipamentos específicos para VNI podem ter um impacto positivo para pacientes em hospitais que não dispõem de outros equipamentos para oferecer CPAP.

O objetivo deste estudo é testar a eficiência do ventilador Bird Mark 7 para oferecer CPAP em VNI.

## Métodos

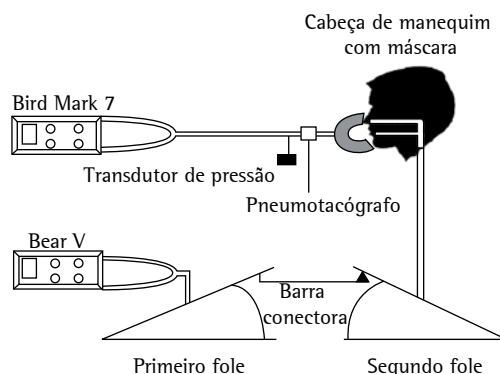
O estudo foi realizado num simulador mecânico do sistema respiratório com dois foles conectados (Adult TTL 2600; Michigan Instruments, Grand Rapids, MI, EUA). O modelo foi modificado em relação a estudos anteriores.<sup>(8,9)</sup> Para simular o esforço inspiratório foi utilizado um ventilador padrão para VNI (Bear V; Bear-Viasys, Riverside, CA, EUA), conectado a um dos foles, que tinha complacência ajustada para 100 mL/cmH<sub>2</sub>O. A insuflação do primeiro fole pelo ventilador de disparo gerava uma pressão negativa no segundo fole, que tinha complacência ajustada para 50 mL/cmH<sub>2</sub>O. Este segundo fole estava conectado a uma cabeça de manequim (C500; Kapta, São Paulo, Brasil) em escala natural, com tubos em seu interior simulando o tamanho e a resistência das vias aéreas superiores. Foi colocada, na face do manequim, uma máscara facial (9000C5; Vital Signs, Totowa, NJ, EUA) conectada ao ventilador Bird Mark 7 (Viasys Healthcare, Palm Springs, CA, EUA).

Às vias aéreas do manequim, foi conectado um transdutor de pressão (DP45-30; Validyne, Northridge, CA, EUA) que refletia a pressão da via

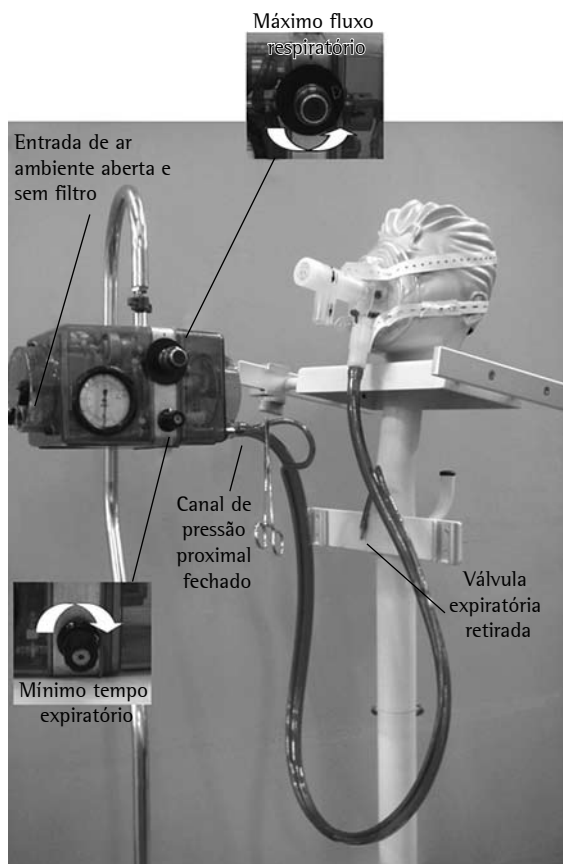
aérea superior. Também à via aérea do manequim foi conectada um pneumotacógrafo (Flow Head 3700; Hans Rudolph, Kansas City, MO, EUA) para medida do fluxo inspiratório e obtenção do volume corrente (Figura 1).

Após a estabilização do sistema, os sinais de pressão e fluxo foram gravados por um minuto e meio. Posteriormente à aquisição, foi feita uma média de todos os ciclos respiratórios. Os sinais foram digitalizados e processados por um programa de aquisição de dados (Lab-View Software, National Instruments, Austin, TX, EUA) para posterior análise.

Para adaptar e otimizar o ventilador para aplicação de CPAP, retirou-se o nebulizador (apesar de não haver diferença de fluxo observada); ajustou-se o botão de tempo expiratório para o mínimo; o fluxo inspiratório para o máximo; abriu-se a entrada lateral de ar ambiente sem nenhum filtro, permitindo o máximo de fluxo; fechou-se o canal de pressão proximal do circuito e retirou-se a válvula expiratória (Figura 2). Então, foi testada sua eficiência nos níveis de CPAP de 5, 10 e 15 cmH<sub>2</sub>O. O ventilador Bird Mark 7 foi conectado à rede de oxigênio hospitalar através de uma válvula redutora de pressão (700810; Moriya, São Paulo, Brasil) ajustada para pressões de 400 e 500 kPa. Para cada pressão de alimentação (400 e 500 kPa) foi medido o fluxo de ar que saía do Bird Mark 7 com um analisador de calibração (RespiCal-Timeter; Allied Health Care, St. Louis, MO, EUA). A pressão de alimentação



**Figura 1** - Ilustração do modelo experimental com o Bird Mark 7 e o Bear V (ventilador mecânico usado para simular o esforço inspiratório). O primeiro e segundo fole constituem o simulador do sistema respiratório.



**Figura 2** - Adaptação do Ventilador Bird Mark 7 para oferta de CPAP. O botão de tempo expiratório (botão inferior) foi girado em sentido horário até o fim do curso do botão. O botão de fluxo inspiratório (botão superior) foi girado em sentido anti-horário até o fim do curso do botão. O canal de pressão proximal do circuito aparece fechado com pinça cirúrgica.

de oxigênio foi ajustada para 400 e 500 kPa porque pressões de alimentação inferiores geraram fluxos menores que 100 L/min, que são insuficientes para o modo CPAP.<sup>(10)</sup>

A eficiência da adaptação foi conferida através de três variáveis:

- a diferença entre a CPAP pré-determinada (5, 10 ou 15 cmH<sub>2</sub>O) e a pressão real medida ao fim da expiração (CPAPreal);
- a área da pressão da via aérea abaixo do nível de CPAP ajustado ( $\text{ÁREA}_{\text{CPAP}}$ ), definida como a área sob o nível de CPAP do início até o final do fluxo inspiratório; e
- o volume corrente gerado obtido integrando-se o sinal de fluxo ao tempo.

A  $\text{ÁREA}_{\text{CPAP}}$  idealmente deve ser zero, uma vez que o nível de pressão ajustado deve ser mantido constante para oferecer a melhor assistência.<sup>(11)</sup> A análise da  $\text{ÁREA}_{\text{CPAP}}$  se correlaciona com a queda do CPAP determinado, mas é mais relevante para a análise da eficiência porque, além da queda do CPAP pré-determinado, também considera o tempo que esta pressão ficou abaixo do pré-determinado durante a inspiração. A cada nível de CPAP foram analisados dois diferentes níveis de esforço inspiratório, que foram conseguidos com diferentes ajustes do ventilador de disparo. Os esforços inspiratórios foram assim definidos:

- Esforço inspiratório normal: frequência respiratória de 10 ciclos/min, ventilação com volume controlado para gerar 360 mL, fluxo inspiratório sinusoidal com pico de 30 L/min e tempo inspiratório de 1 s; e
- Esforço inspiratório elevado: frequência respiratória de 20 ciclos/min, ventilação com volume controlado para gerar 650 mL, fluxo inspiratório sinusoidal com pico de 60 L/min e tempo inspiratório de 1 s.

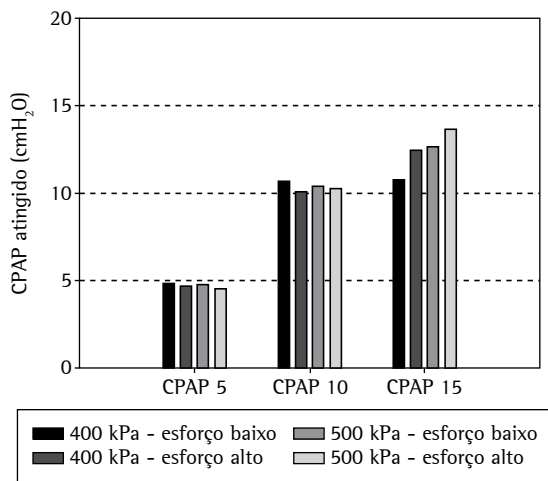
Como era esperado para um modelo mecânico,<sup>(10)</sup> os valores de fluxo e volume de cada ciclo respiratório foram estáveis. Portanto, considerando que a variância dos dados obtidos é desprezível, nenhum método estatístico, exceto a comparação direta, foi aplicado.

## Resultados

O fluxo de ar contínuo gerado pelo Bird Mark 7 foi de 99 L/min para a pressão de 400 kPa e 110 L/min para a pressão de 500 kPa.

Independentemente da pressão de alimentação (400 ou 500 kPa) e do esforço inspiratório, o Bird Mark 7 conseguiu atingir o CPAP pré-determinado (CPAPreal) de 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O, mas em nenhuma situação testada o CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O pode ser atingido (Figura 3).

Independentemente da pressão de alimentação, do esforço inspiratório e do valor de CPAP ajustado, sempre houve uma queda no valor do CPAP durante a inspiração. Como esperado, esta queda foi mais intensa com o esforço inspiratório elevado (Tabela 1). A  $\text{ÁREA}_{\text{CPAP}}$  para CPAP de 5 a 10 cmH<sub>2</sub>O revelou uma pequena área de queda da pressão da via aérea durante a inspiração e o valor ficou próximo de zero (Figura 4), indicando uma boa eficiência.



**Figura 3** - Diferença entre a pressão de CPAP pré-determinada (5, 10 ou 15 cmH<sub>2</sub>O) e a pressão real medida ao fim da expiração.

No entanto a  $\dot{V}_{CPAP}$  para o CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O mostrou um valor elevado (até 5 cmH<sub>2</sub>O/s), indicando um desempenho insatisfatório da adaptação do Bird Mark 7 para oferecer CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O.

Independentemente da pressão de alimentação (400 ou 500 kPa), nível de CPAP e esforço inspiratório, o volume corrente gerado pelo Bird Mark 7 foi muito próximo do esperado para o esforço inspiratório (360 mL no esforço inspiratório baixo e 650 mL no esforço alto - Tabela 1).

### Discussão

A adaptação do Bird Mark 7 para oferecer CPAP em VNI conseguiu atingir o volume corrente espe-

rado em todas as situações de esforço inspiratório (normal ou elevado), pressão de alimentação (400 ou 500 kPa) e valor de CPAP (5, 10 ou 15 cmH<sub>2</sub>O). Para os CPAPs de 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O, o CPAPreal foi muito próximo do pré-determinado e a  $\dot{V}_{CPAP}$  teve valor próximo de zero. Para o CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O, o CPAPreal ficou abaixo do pré-determinado e a  $\dot{V}_{CPAP}$  teve valor elevado.

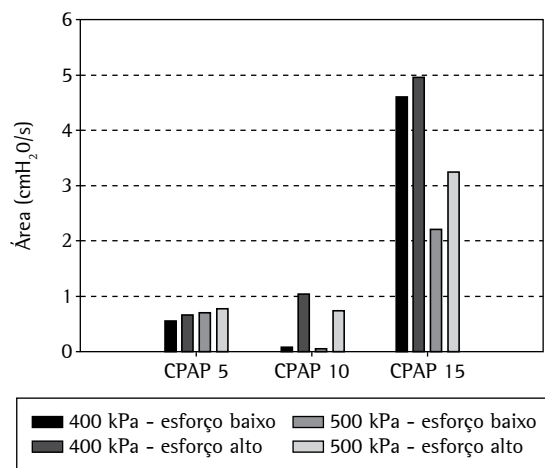
A adaptação do Bird Mark 7 mostrou-se eficiente para oferecer CPAP de 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O. No entanto, observamos pior desempenho da adaptação do Bird Mark 7 quando ajustado para CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O. Para a pressão de alimentação de 400 kPa, principalmente no esforço alto, o desempenho foi muito insatisfatório. Já para a pressão de 500 kPa, as falhas foram menores, porém ainda significativas. Como a  $\dot{V}_{CPAP}$  depende basicamente do fornecimento de gás suficiente ou insuficiente em relação à quantidade de fluxo necessária durante a inspiração,<sup>(12)</sup> o fator determinante para o desempenho insuficiente ocorrido no estudo do CPAP 15 foi o fluxo insuficiente para manter esta pressão. Em estudo anterior, nosso grupo mostrou que aparelhos microprocessados específicos de VNI liberam fluxos entre 130 e 154 L/min para manter a pressão de 15 cmH<sub>2</sub>O, portanto, acima dos 99 e 110 L/min liberados pelo Bird Mark 7.<sup>(10)</sup>

O CPAPreal para o CPAP de 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O foi igual ao pré-determinado. Novamente, nos testes com CPAP 15 cmH<sub>2</sub>O a adaptação foi ineficiente. A pequena melhora no desempenho para atingir a pressão pré-determinada com o esforço alto provavelmente está relacionada ao maior volume inspiratório gerado e conseqüente maior volume

**Tabela 1** - Volumes correntes e menor valor de pressão positiva contínua nas vias aéreas atingido para ajustes de 400 e 500 kPa.

	$V_c$ (mL)	Menor CPAP atingido (cmH <sub>2</sub> O)	
		400 kPa	500 kPa
<b>CPAP 5 cmH<sub>2</sub>O</b>			
Esforço normal	372	4,19	367
Esforço elevado	600	3,74	618
<b>CPAP 10 cmH<sub>2</sub>O</b>			
Esforço normal	349	9,74	371
Esforço elevado	635	7,53	642
<b>CPAP 15 cmH<sub>2</sub>O</b>			
Esforço normal	355	9,36	382
Esforço elevado	646	8,02	655

$V_c$ : volume corrente; e CPAP: *continuous positive airway pressure* (pressão positiva contínua nas vias aéreas).



**Figura 4** -  $\text{ÁREA}_{\text{CPAP}}$  obtidas para os diferentes níveis de pressão e esforço.  $\text{ÁREA}_{\text{CPAP}}$  é a área da pressão da via aérea abaixo do nível de pressão de CPAP ajustado, definida como a área sob o nível de CPAP do início até o final do fluxo inspiratório.

expiratório, que pode ter proporcionado maior recuperação da pressão após a queda durante a inspiração.

Em nosso estudo, o volume corrente observado se aproximou do pré-estabelecido (360 e 650 mL para os esforços normal e elevado, respectivamente) porque o Bird Mark 7 ofereceu um fluxo que excedeu o fluxo inspiratório e a demanda para volume.

Em um estudo prévio do nosso grupo que comparou o desempenho de dois geradores de fluxo contínuo com um ventilador específico e microprocessado para ventilação não-invasiva em CPAP,<sup>(10)</sup> observamos um desempenho melhor ou igual da adaptação do Bird Mark 7 em relação aos geradores de fluxo. A  $\text{ÁREA}_{\text{CPAP}}$  da adaptação foi semelhante a dos geradores de fluxo e a do aparelho microprocessado para os esforços baixos e melhor que a dos geradores para esforços altos. A capacidade de atingir o valor pré-determinado de CPAP foi semelhante entre os geradores de fluxo contínuo e a adaptação do Bird Mark 7. A provável explicação da semelhança de desempenho entre a adaptação do Bird Mark 7 e os geradores de fluxo específico também está no nosso estudo anterior,<sup>(10)</sup> que mostrou que o melhor desempenho de geradores de fluxo contínuo aconteceu quando eles geraram 100 a 120 L/min, que são valores próximos aos obtidos na nossa adaptação do Bird Mark 7.

O estudo atual demonstrou como adaptar o ventilador Bird Mark 7 para oferecer VNI e a eficiência da adaptação. A relevância desta demonstração está na capacidade de oferecer VNI, na modalidade CPAP, em hospitais onde este equipamento é o único disponível ou onde não há número de equipamentos suficientes para VNI. Infelizmente, cremos que esta é a realidade nacional. A capacidade de oferecer VNI é muito importante porque esta modalidade ventilatória é comprovadamente eficiente para diminuir intubações traqueais, custos, morbidade e mortalidade.<sup>(1-4)</sup>

Uma limitação do estudo que se deve considerar é o fato que ele foi conduzido em um modelo mecânico do sistema respiratório que, apesar de simular uma situação clínica, não abrange todos os seus diversos e complexos aspectos. No nosso modelo, a vedação da máscara facial foi boa, ocorrendo apenas um pequeno vazamento, como é desejado na VNI ideal. No entanto, numa situação clínica em que a vedação não for adequada e em que ocorrerem maiores vazamentos, o desempenho da adaptação do Bird Mark 7 pode ser diferente. Estas limitações devem ser superadas em estudos com pacientes ou voluntários saudáveis.

Em conclusão, a eficiência da adaptação do Bird Mark 7 para oferecer CPAP em VNI foi boa para os valores de CPAP de 5 e 10 cmH<sub>2</sub>O e insuficiente para CPAP de 15 cmH<sub>2</sub>O. Se adaptado como no nosso estudo, o Bird Mark 7 pode ser uma opção para oferta de CPAP até 10 cmH<sub>2</sub>O em locais onde os equipamentos de VNI são escassos ou inexistentes.

## Referências

1. Mehta S, Hill NS. Noninvasive ventilation. *Am J Respir Crit Care Med.* 2001;163(2):540-77.
2. Evans TW. International Consensus Conferences in Intensive Care Medicine: non-invasive positive pressure ventilation in acute respiratory failure. Organised jointly by the American Thoracic Society, the European Respiratory Society, the European Society of Intensive Care Medicine, and the Société de Réanimation de Langue Française, and approved by the ATS Board of Directors, December 2000. *Intensive Care Med.* 2001;27(1):166-78.
3. Bersten AD, Holt AW, Vedig AE, Skowronski GA, Baggoley CJ. Treatment of severe cardiogenic pulmonary edema with continuous positive airway pressure delivered by face mask. *N Engl J Med.* 1991;325(26):1825-30.
4. Goldberg P, Reissmann H, Maltais F, Ranieri M, Gottfried SB. Efficacy of noninvasive CPAP in COPD with acute respiratory failure. *Eur Respir J.* 1995;8(11):1894-900.
5. Pelosi P, Chiumello D, Calvi E, Taccone P, Bottino N, Panigada M, et al. Effects of different continuous positive

- airway pressure devices and periodic hyperinflations on respiratory function. *Crit Care Med.* 2001;29(9):1683-9.
6. Napolis LM, Jeronimo LM, Baldini DV, Machado MP, de Souza VA, Caruso P. Availability and use of noninvasive ventilation in the intensive care units of public, private and teaching hospitals in the greater metropolitan area of São Paulo, Brazil. *J Bras Pneumol.* 2006;32(1):29-34.
  7. Pazzianoto-Forti, EM, Naletto MC, Giglioli MO. A eficácia da aplicação de pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP), com utilização do Bird Mark 7, em pacientes em pós-operatório de cirurgia. *Rev Bras Fisioter.* 2002;6(1):31-5.
  8. Schettino GP, Tucci MR, Sousa R, Valente Barbas CS, Passos Amato MB, Carvalho CR. Mask mechanics and leak dynamics during noninvasive pressure support ventilation: a bench study. *Intensive Care Med.* 2001;27(12):1887-91.
  9. Schettino GP, Chatmongkolchart S, Hess DR, Kacmarek RM. Position of exhalation port and mask design affect CO<sub>2</sub> rebreathing during noninvasive positive pressure ventilation. *Crit Care Med.* 2003;31(8):2178-82.
  10. Fu C, Caruso P, Lucatto JJ, de Paula Schettino GP, de Souza R, Carvalho CR. Comparison of two flow generators with a noninvasive ventilator to deliver continuous positive airway pressure: a test lung study. *Intensive Care Med.* 2005;31(11):1587-91.
  11. Mehta S, McCool FD, Hill NS. Leak compensation in positive pressure ventilators: a lung model study. *Eur Respir J.* 2001;17(2):259-67.
  12. Chiumello D, Pelosi P, Carlesso E, Severgnini P, Aspesi M, Gamberoni C, et al. Noninvasive positive pressure ventilation delivered by helmet vs. standard face mask. *Intensive Care Med.* 2003;29(10):1671-9.