



ARTIGO ORIGINAL

Importância da auto-PEEP sobre a mecânica respiratória e gases arteriais em pacientes submetidos a ventilação pulmonar mecânica

Auto-PEEP effects on respiratory mechanics and blood gases in mechanically ventilated patients

Antônio C. P. Ferreira¹, Benjamin I. Kopelman², Werther B. Carvalho³, Jorge Bonassa⁴

Resumo

Objetivo: Estudar a incidência e a magnitude da auto-PEEP e a relação entre a sua redução e as alterações ocorridas na mecânica respiratória e nas trocas gasosas, em recém-nascidos e lactentes internados em Unidade de Terapia Intensiva e submetidos a ventilação pulmonar mecânica.

Métodos: Foram estudados inicialmente dezessete pacientes com idade abaixo de dois anos, submetidos a ventilação pulmonar mecânica devido a doenças respiratórias ou neuromusculares. Treze apresentaram auto-PEEP e foram selecionados para estudo prospectivo. Foram medidos gases arteriais, pressão média de via aérea, volume corrente, complacência, resistência e constantes de tempo do sistema respiratório e monitorizadas as curvas de pressão, fluxo, volume, pressão-volume e fluxo-volume.

Resultados: A incidência de auto-PEEP foi 76%. A redução da sua magnitude (de $5,4 \pm 3,2$ para $4,1 \pm 2,6$ cmH₂O, $p < 0,01$) esteve associada à diminuição da pressão média de via aérea (de $10,2 \pm 3,1$ para $9,3 \pm 2,3$ cmH₂O, $p < 0,01$), ao aumento do volume corrente (de $45,3 \pm 19,1$ para $51,3 \pm 22,9$ mililitros, $p < 0,01$) e da complacência corrigida do sistema respiratório (de $1,02 \pm 1,20$ para $1,13 \pm 1,41$ ml/cmH₂O/kg, $p = 0,05$). A resistência expiratória não teve alteração (inicial de $15,0 \pm 8,6$ e final de $15,7 \pm 9,4$ cmH₂O/l/seg/kg, $p = 0,06$). A avaliação gasométrica evidenciou aumento do pH (de $7,37 \pm 0,12$ para $7,42 \pm 0,05$, $p < 0,05$) e redução da PaCO₂ (de $40,1 \pm 11,1$ mmHg para $33,1 \pm 7,4$ mmHg, $p < 0,01$) e da PaO₂ (de $65,0 \pm 13,9$ para $58,0 \pm 12,6$ mmHg, $p < 0,01$).

Conclusões: A incidência e a magnitude da auto-PEEP foram elevadas no grupo estudado e a sua redução foi associada à melhora da mecânica respiratória e dos gases arteriais. O conhecimento do exato valor da auto-PEEP permitiu a correção dos valores da complacência, das constantes de tempo respiratório e dos índices da mecânica respiratória.

J. pediatr. (Rio J.). 1998; 74(4):275-283: Auto-PEEP, respiração artificial, respiração com pressão positiva, mecânica respiratória, testes de função respiratória.

Abstract

Objective: The purpose of this study was to examine the auto-PEEP incidence and magnitude and the relationship between its reductions and changes in respiratory mechanics and gas exchanges in mechanically ventilated patients admitted in an Intensive Care Unit.

Methods: A prospective study was conducted in seventeen infants undergoing mechanical ventilation due to respiratory or neuromuscular diseases. We have measured blood gases, mean airway pressure, tidal volume, compliance, resistance and time constants of the respiratory system and monitored pressure, flow and volume waveforms and pressure-volume and flow-volume loops.

Results: Thirteen patients or 76% developed auto-PEEP and the reduction of its magnitude (from 5.4 ± 3.2 to 4.1 ± 2.6 cmH₂O, $p < 0.01$) showed association to mean airway pressure decrease (from 10.2 ± 3.1 to 9.3 ± 2.3 cmH₂O, $p < 0.01$), tidal volume (from 45.3 ± 19.1 to 51.3 ± 22.9 ml, $p < 0.01$) and corrected compliance increase (1.02 ± 1.20 to 1.13 ± 1.41 ml/cmH₂O/kg, $p = 0.05$). Expiratory resistance remained unchanged (from 15.0 ± 8.6 to 15.7 ± 9.4 cmH₂O/l/seg/kg, $p = 0.06$). Arterial blood gases showed pH increase (from 7.37 ± 0.12 to 7.42 ± 0.05 , $p < 0.05$) and PCO₂ and PO₂ decrease (from 40.1 ± 11.1 mmHg to 33.1 ± 7.4 mmHg, $p < 0.01$ and 65.0 ± 13.9 to 58.0 ± 12.6 mmHg, $p < 0.01$ respectively).

Conclusions: Auto-PEEP reduction was associated with pulmonary mechanics and blood gases improvement. Knowledge of auto-PEEP presence and magnitude allowed to respiratory system compliance and time constants correction, providing accurate index of the pulmonary mechanics.

J. pediatr. (Rio J.). 1998; 74(4):275-283: Auto-PEEP, artificial respiration, positive pressure ventilation, respiratory mechanics, respiratory function tests.

1. Mestre em Pediatria pela Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo e médico do Neocenter - Belo Horizonte - MG.

2. Professor Titular do Depto. de Pediatria da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo.

3. Professor Assistente do Depto. de Pediatria da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo e Chefe da UTI Pediátrica do Hospital São Paulo, do Depto. de Pediatria da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo.

4. Doutor pela Disciplina de Pneumologia da Univ. Fed. de São Paulo - Escola Paulista de Medicina e Engenheiro da Intermed Equipeto. Médico Hospitalar Ltda. Trabalho realizado na UTI Pediátrica do Hospital Regional da Asa Norte, Brasília-DF e no Depto. de Pediatria da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo.

Introdução

Diversos trabalhos têm sido publicados, nos últimos anos, abordando o impacto da ventilação pulmonar mecânica (VPM) sobre os gases arteriais, em recém-nascidos e lactentes¹⁻⁴. Alguns estudos mediram o efeito do pico de pressão e do platô inspiratórios, do volume corrente, pressão expiratória e frequência respiratória sobre a mecânica respiratória⁵⁻⁷. No entanto, são poucos os relatos descrevendo a relação entre a ocorrência de auto-PEEP e seus efeitos sobre os gases arteriais e a mecânica respiratória^{8,9}.

A auto-PEEP é conceituada como a persistência de uma pressão alveolar positiva, ao final da expiração, não intencional, devido à presença de um volume pulmonar expiratório final maior do que a capacidade residual funcional prevista. Ocorre em pacientes submetidos à VPM, em consequência de o aparelho de ventilação iniciar uma fase inspiratória com pressão positiva, antes que o tempo expiratório tenha sido suficiente para a exalação completa do volume inspirado anteriormente. O resultado deste fenômeno é um aumento progressivo do volume pulmonar e da pressão pleural a cada respiração, elevando a pressão de retração tecidual a um nível crítico, capaz de determinar um aumento do fluxo expiratório suficiente para abrir a via aérea e reduzir a resistência ao fluxo. No ponto correspondente ao nível crítico, o volume pulmonar estabiliza-se, de modo que todo o volume corrente passa a ser expirado às custas de um aumento na pressão pleural. Pode hiperdistender os alvéolos, predispondo ao barotrauma, diminuir a complacência pulmonar e a ventilação alveolar devido ao aumento do espaço morto, comprometer o fluxo sanguíneo brônquico e aumentar a permeabilidade capilar alveolar. Aumenta, também, a pressão intracraniana e compromete a função renal¹⁰⁻¹². Do mesmo modo que a PEEP aplicada, a auto-PEEP pode ter efeitos hemodinâmicos adversos, produzindo leituras falsas das pressões das câmaras cardíacas e dos vasos pulmonares¹⁰.

Embora auto-PEEP e hiperinsuflação pulmonar dinâmica sejam utilizados habitualmente como sinônimos, um não implica necessariamente o outro. A auto-PEEP pode ser observada em pacientes sem hiperinsuflação dinâmica, devido a ajustes no aparelho de ventilação pulmonar mecânica que elevam excessivamente o volume minuto, como pressões inspiratórias, frequências respiratórias, volumes correntes e pressões de distensão (PEEP ou CPAP aplicadas) altos, tempos inspiratórios longos ou tempos expiratórios curtos¹¹. Ocorre, também, devido à grande resistência ao fluxo aéreo oferecida pela cânula endotraqueal e pelos componentes do aparelho de ventilação pulmonar mecânica (circuito e válvula expiratória), que aumentam as constantes de tempo.

A auto-PEEP não é evidente, a menos que seja pesquisada com técnicas adequadas, podendo alterar agudamente a dinâmica alveolar e constituir um risco reconhecido em situações que afetam o fluxo durante a expiração, levando a um aumento desnecessário do trabalho mecânico do sistema respiratório.

Em Pediatria, a técnica utilizada habitualmente para medida da auto-PEEP consiste no pinçamento da conexão entre a cânula traqueal e o circuito de ventilação⁸. O procedimento é manual, o que aumenta a margem de erro e torna necessária a repetição da manobra diversas vezes durante um curto intervalo de tempo, para minimizar o erro e assegurar a reprodutibilidade da técnica. Outro método é através da utilização do reflexo de Hering-Breuer, que permite a medida da mecânica respiratória durante a expiração passiva, sem necessidade de sedação ou bloqueio neuromuscular e que mostrou ser limitado para recém-nascidos com comprometimento respiratório, já que nesses casos é comum o início da inspiração antes que a expiração passiva termine¹³. A medida da auto-PEEP através de balão esofágico, proposta por alguns autores, não deve ser empregada em indivíduos com coordenação deficiente, principalmente crianças sedadas, anestesiadas ou com distúrbios respiratórios graves, já que as propriedades elásticas da parede esofágica podem estar alteradas, além do risco representado pela presença de líquido no esôfago. A distorção da parede torácica devido à elasticidade do gradil costal interfere na relação da pressão esofágica como medida da pressão pleural no período neonatal, o que pode ser contornado através do posicionamento adequado do cateter em uma pequena região do terço distal do esôfago, onde as alterações da pressão esofágica refletem com precisão a pressão pleural^{3,7,14}.

Para a execução deste trabalho foi desenvolvido um dispositivo eletropneumático, sincronizado com o aparelho de ventilação e interposto entre o circuito de ventilação e a cânula traqueal, permitindo uma medida precisa da auto-PEEP, sem os inconvenientes do acionamento manual.

Os objetivos deste estudo foram 1º) avaliar a incidência e a magnitude da auto-PEEP em recém-nascidos e lactentes com disfunção respiratória devido a doença pulmonar e ou neuromuscular e 2º) analisar a relação entre a redução da auto-PEEP e as alterações ocorridas na mecânica respiratória e nas trocas gasosas.

Métodos

Foram incluídos dezessete recém-nascidos e lactentes admitidos consecutivamente na Unidade de Terapia Intensiva Pediátrica do Hospital Regional da Asa Norte da Fundação Hospitalar do Distrito Federal e submetidos à VPM, durante cuidados intensivos devido a patologias respiratórias ou comprometimento neuromuscular afetando a mecânica ventilatória. Foram estabelecidos os seguintes critérios de inclusão: 1º) idade inferior a dois anos completos; 2º) portadores de doença respiratória intrínseca ou comprometimento ventilatório de origem neuromuscular; 3º) submetidos a VPM controlada com pressão positiva, definida como sendo aquela em que o paciente não tem controle sobre o início, duração, final e frequência das fases do ciclo respiratório mecânico, esta situação esteve presen-

te em pacientes com fadiga severa, comatosos, sedados e/ou paralisados devido a esforço respiratório espontâneo aumentado e com risco de barotrauma e/ou comprometimento das trocas gasosas); e 4^o) submetidos a bloqueio neuromuscular, em ventilação mecânica controlada, sem esforço aparente e que apresentaram alterações no platô expiratório durante a manobra de oclusão, devido a atividade da musculatura diafragmática.

Os pacientes foram ventilados com um aparelho modelo Inter 3 (Intermed Ltda., São Paulo, Brasil), com fluxo contínuo, limitado a pressão e ciclado a tempo. A intubação traqueal foi realizada com cânula com balonete de baixa pressão (Sheridan Catheter Co., New York, USA), que foi insuflado apenas durante o tempo necessário para o procedimento de oclusão. Para a medida da auto-PEEP foi desenvolvido um sistema com válvula pneumática Glengary 02575 (Bird Products Co., Califórnia, USA), interposta entre o circuito de ventilação e a cânula traqueal e modificada para permitir a oclusão da via respiratória, acionada eletronicamente através de um solenóide conectado ao aparelho de ventilação pulmonar mecânica, que capta o sinal de mudança de fase do ciclo ventilatório, permitindo o fechamento do sistema exatamente no final da fase expiratória (Figura 1). Este dispositivo, com espaço morto e complacência baixos, adequado para o uso em volumes correntes reduzidos e sincronizado com o aparelho de ventilação, isolou os ramos do circuito na conexão com a cânula traqueal, permitindo uma medida precisa da pressão no sistema respiratório, sem as interferências mecânicas inerentes ao circuito e ao aparelho de ventilação e eliminando os inconvenientes do acionamento manual, que pode incorporar uma pressurização indesejável. A medida da mecânica respiratória foi realizada com cada paciente intu-

bado. Os fluxos ins- e expiratório foram medidos através de um pneumotacógrafo aquecido modelo 3.500B, com volume do espaço morto 5,5 mililitros e variação do fluxo linear de 0 a 35 litros por minuto (Hans-Rudolph, MO, USA), interposto entre a extremidade externa da cânula traqueal e a válvula de oclusão. O pneumotacógrafo foi conectado a um transdutor de pressão diferencial (Microswitch - Honeywell Division, USA), através de dois tubos de PVC com diâmetro interno de 4 mm.

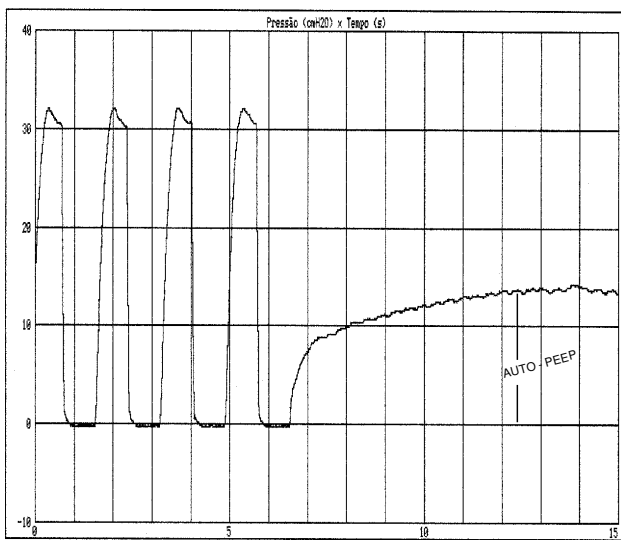
A pressão traqueal foi medida no conector da cânula traqueal, através de um transdutor de pressão (Microswitch - Honeywell Division, USA), de modo a medir a pressão do sistema pulmões, via aérea e cânula traqueal.

O sinal de fluxo foi integrado numericamente para a obtenção do volume e da constante de tempo do sistema respiratório. Todos os sinais foram calibrados independentemente. Pressão, fluxo e volume foram integrados para monitorização da complacência e da resistência inspiratórias. Os dados foram convertidos por uma placa analógica/digital a uma taxa de 100 Hertz e processados por um computador IBM-PC compatível, com processador AT-80386, 40mhz de velocidade e placa aceleradora com processador matemático. Os dados foram arquivados em disco rígido e o programa para computador utilizado foi o Pneumoview versão 1.01 (Lynx Tecnologia Eletrônica Ltda., SP). O programa Pneumoview permitiu a exibição em tempo real das curvas de pressão, fluxo, volume, pressão-volume e fluxo-volume, além dos valores da pressão média de via aérea, da constante de tempo, da complacência e da resistência. O dispositivo de oclusão conectado ao circuito e aos sensores de fluxo e pressão pode ser visto na Figura 2 e o sistema completo está distribuído esquematicamente na Figura 3.

Não foram feitas correções para compressão dos gases e expansão volumétrica, porque as medidas foram realizadas na conexão da cânula traqueal. As unidades de medida obedeceram ao padrão BTPS (temperatura corporal, pressão ambiente e saturada com vapor d' água). Os exames dos gases arteriais foram realizados em um aparelho ABL-330 (Radiometer-Copenhagen, Denmark).

Foi definido como "PEEP total" a pressão do platô expiratório medida no quarto segundo após a manobra de oclusão, correspondendo à soma da PEEP aplicada com a auto-PEEP e considerada como auto-PEEP uma diferença entre a PEEP total e a PEEP aplicada igual ou maior que 1 cmH₂O.

Por razões de segurança, foi monitorizada continuamente a frequência cardíaca e a saturação de pulso de oxigênio (SpO₂). Todos os pacientes foram estudados na posição supina, após verificação, através da integridade da curva de fluxo e da alça fluxo-volume, de vazamentos em torno das cânulas traqueais. Cada procedimento foi iniciado após confirmação da estabilidade clínica e aspiração prévia das secreções traqueobrônquicas. Para sedação foi administrado midazolam e, quando necessário, procedido bloqueio neuromuscular com brometo de pancurônio.



MAP = 12.10 cmH₂O

Figura 1 - Curva de pressão de via aérea, com elevação da linha de base ao final da fase expiratória

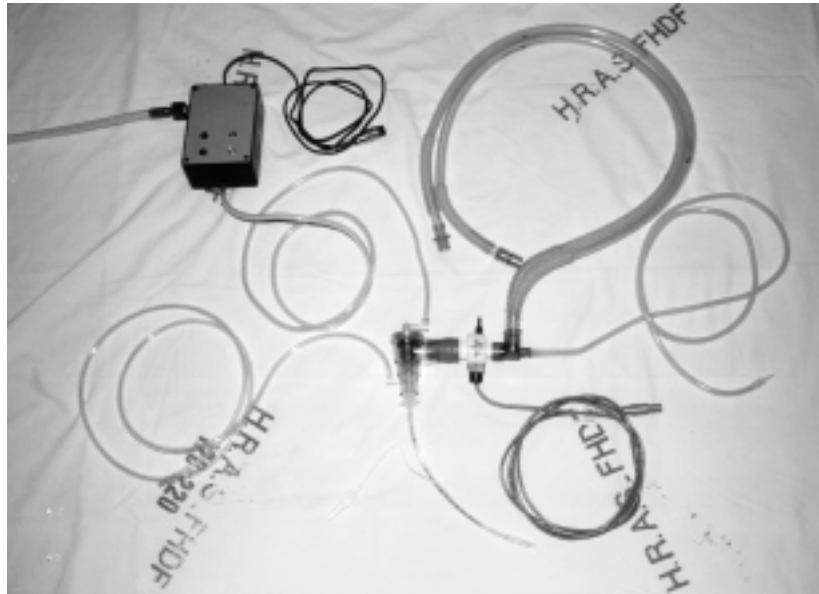


Figura 2 - Dispositivo para oclusão da via aérea com válvula e acionador, interposto entre a cânula traqueal e os sensores de fluxo e de pressão

A repercussão dos ajustes nos parâmetros ventilatórios foi avaliada através das diferenças ocorridas na mecânica respiratória, representada pelas seguintes variáveis: 1) Complacência estática, avaliada de duas maneiras: 1º) *Complacência medida* ($C_{EST} = VC / P_{PLATÔ} - PEEP$) como a relação entre o volume corrente (VC) e a diferença entre o platô inspiratório e a pressão expiratória final (PEEP) medida pelo manômetro do aparelho de ventilação, antes da oclusão; 2º) *complacência corrigida* ($C_{EST} = VC /$

$P_{PLATÔ} - (PEEP + \text{auto-PEEP})$), na qual foi aplicado o conceito de “complacência corrigida”, definido como sendo a relação entre o volume corrente e a diferença entre o platô inspiratório e a PEEP total durante o procedimento de oclusão. 2) Medida da resistência do sistema respiratório, medida de duas maneiras: 1º) a resistência inspiratória foi medida diretamente pelo sistema de monitorização, 2º) a resistência expiratória foi calculada pela plotagem das curvas volume-pressão e fluxo-volume, com os valores de

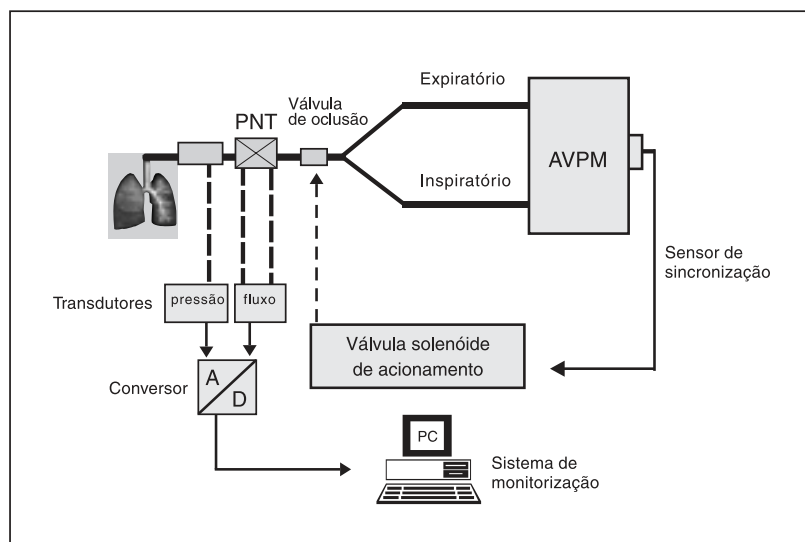


Figura 3 - Esquema do sistema para monitorização da Auto-PEEP

Obs.: AVPM - Aparelho de Ventilação Pulmonar Mecânica, PNT - Pneumotacógrafo

pressão (DP = Pressão em cmH₂O) e fluxo (V = Fluxo em l/seg) considerados para uma mesma taxa de volume expiratório, de acordo com a equação: $R_{EXP} = DP/V$. 3) Constantes de Tempo medidas e corrigidas: a constante de tempo inspiratória foi calculada como o produto da complacência medida, considerada constante, pela resistência inspiratória, e a expiratória como o produto da complacência medida pela resistência expiratória. As constantes de tempo corrigidas foram calculadas com os valores da complacência corrigida. Os tempos ins- e expiratórios, equivalentes a cinco constantes de tempo, foram comparados com os tempos ajustados de acordo com a rotina da Unidade. 4) Nível de auto-PEEP e PEEP total: medido pelo manômetro do aparelho de ventilação e pelo sistema de monitorização. Quando houve diferença entre as medidas, foi considerado o valor da curva dado pelo sistema computadorizado. 5) Medida dos gases arteriais.

Dos pacientes admitidos inicialmente, foram selecionados e submetidos ao restante do protocolo aqueles que apresentaram auto-PEEP.

Após a detecção e quantificação da auto-PEEP, foi realizado o primeiro conjunto de medidas. O procedimento de oclusão foi repetido três vezes e considerada a média do valor da pressão no quarto segundo do platô expiratório. Em seguida foi reduzido o tempo inspiratório e/ou a frequência respiratória e ajustada a PEEP, mantendo-se constante a pressão inspiratória. O segundo conjunto de medidas da mecânica respiratória e dos gases arteriais foi realizado após confirmação da estabilidade do paciente diante dos ajustes na ventilação mecânica.

O estudo foi observacional prospectivo, com a avaliação das alterações ocorridas na mecânica ventilatória e nos gases arteriais, após detecção, quantificação e redução parcial da auto-PEEP. Os parâmetros correspondentes ao primeiro (inicial) e segundo (final) conjuntos de medidas

foram discriminados como média ± desvio padrão e mediana. Todos os conjuntos de variáveis iniciais e finais foram pareados e analisados através do teste não paramétrico de Wilcoxon para amostras com distribuição não normal, considerando um intervalo de confiança de 95% e nível de rejeição de 5%.

Resultados

Dos dezessete pacientes admitidos inicialmente no protocolo, treze (76%) apresentaram auto-PEEP e foram submetidos ao estudo prospectivo, sendo que dez deles foram avaliados apenas em uma ocasião e três em dois momentos diferentes durante a internação.

Os dados gerais do grupo estudado, referentes à identificação, idade, sexo, peso e diagnóstico estão relacionados na Tabela 1. A média de idade foi de 1,8 meses e a mediana 1 semana, e, para o peso, a média foi 4.065 gramas e a mediana 3.070 gramas. Os parâmetros iniciais de pressões inspiratória e expiratória, frequência de ciclagem e relação inspiração:expiração estão descritos na Tabela 2. A média das pressões inspiratórias permaneceu inalterada (28,1 ± 4,5 e mediana 28,5 cmH₂O no início e 28,4 ± 4,6 e mediana 28,5 cmH₂O no final, p=0,50). A frequência respiratória caiu de 31,5 ± 9,1 com mediana 30 CPM para 28,6 ± 5,2 com mediana 30 CPM (p<0,05).

A Tabela 3 discrimina os valores da mecânica respiratória e dos gases arteriais, no início e no final do estudo. Os volumes correntes aumentaram de 45,3 ± 19,1 e mediana 42 mililitros para 51,3 ± 22,9 e mediana 50 ml (p<0,01).

As pressões médias de via aérea iniciais, de 10,2 ± 3,1 com mediana 9,6 cmH₂O, foram reduzidas para 9,3 ± 2,3 com mediana 9,14 cmH₂O (p<0,01). Foi observada uma pressão média de via aérea no início do estudo de até 8 cmH₂O em quatro casos, acima de 8 e até 12 cmH₂O em sete, acima de 12 e até 15 cmH₂O em quatro e acima de 15

Tabela 1 - Caracterização do grupo estudado: idade, sexo, peso e diagnóstico

| Caso Nº | Idade | Sexo | Peso (gramas) | Diagnóstico |
|---------|----------|------|---------------|---|
| 01 | 25 dias | F | 2.300 | Cardiopatia Congênita + Pneumonia |
| 02 | 02 dias | F | 2.840 | Aspiração Meconial |
| 03 | 13 meses | M | 11.200 | Meningite Bacteriana + Pneumonia |
| 04 | 04 meses | F | 7.000 | Meningite Bacteriana + VPM prolongada + Traqueostomia |
| 05 | 05 meses | F | 4.500 | Meningite Bacteriana + DMOS |
| 06 | 04 dias | F | 2.770 | Sepse + Pneumonia |
| 07 | 06 dias | M | 1.420 | Pneumonia + Hiperinsuflação |
| 08 | 05 dias | M | 2.800 | Prematuridade + Membrana Hialina |
| 09 | 09 dias | F | 5.280 | Aspiração Meconial |
| 10 | 05 dias | F | 3.660 | Sepse + Pneumonia |
| 11 | 13 dias | M | 3.300 | Aspiração Meconial + Asfixia |
| 12 | 04 dias | M | 2.230 | Prematuridade + Membrana Hialina |
| 13 | 09 dias | M | 900 | Prematuridade + Membrana Hialina |

Abreviaturas: VPM = Ventilação Pulmonar Mecânica, DMOS = Disfunção de Múltiplos Órgãos e Sistemas

Tabela 2 - Parâmetros ventilatórios ajustados no início e no final do estudo: pressão inspiratória (PI), pressão expiratória (PEEP), frequência respiratória (FR) e relação inspiração:expiração (I:E)

| Caso Nº | PI (cmH ₂ O) | | PEEP (cmH ₂ O) | | FR (cpm) | | I:E | |
|---------|-------------------------|-------|---------------------------|-------|----------|-------|---------|--------|
| | Inicial | Final | Inicial | Final | Inicial | Final | Inicial | Final |
| 01 | 30 | 30 | 4 | 4 | 30 | 25 | 1:1,3 | 1:1,7 |
| 02A | 29 | 32 | 1 | 0 | 30 | 28 | 1:1,6 | 1:1,8 |
| 02B | 29 | 29 | 0 | 3 | 30 | 30 | 1:1,6 | 1:1,6 |
| 03 | 24 | 24 | 1 | 1 | 40 | 30 | 1:1,2 | 1:1,5 |
| 04A | 22 | 20 | 1 | 0 | 18 | 18 | 1:2,5 | 1:3,1 |
| 04B | 22 | 26 | 1 | 1 | 30 | 25 | 1:1,3 | 1:1,5 |
| 05 | 32 | 32 | 3 | 4 | 36 | 36 | 1,2:1 | 1,2:1 |
| 06 | 29 | 29 | 1 | 1 | 30 | 28 | 1:1,6 | 1:2 |
| 07 | 28 | 28 | 2,5 | 2,5 | 60 | 40 | 1:1 | 1:1,3 |
| 08 | 32 | 33 | 4 | 4 | 30 | 30 | 1:1,8 | 1:2 |
| 09A | 29 | 29 | 1 | 0 | 30 | 30 | 1:1,5 | 1:1,7 |
| 09B | 28 | 28 | 1 | 4 | 28 | 28 | 1:1,3 | 1:1,6 |
| 10 | 26 | 25 | 1 | 1 | 30 | 30 | 1:1,3 | 1:1,5 |
| 11 | 27 | 27 | 3 | 3 | 20 | 20 | 1:3 | 1:4 |
| 12 | 40 | 40 | 2 | 2 | 33 | 30 | 1,23:1 | 1:1,22 |
| 13 | 23 | 23 | 3 | 3 | 30 | 30 | 1:1,5 | 1:1,8 |

cmH₂O em um caso. Após as medidas corretivas, em cinco observações a pressão média de via aérea ficou na faixa até 8 cmH₂O, em oito ficou acima de 8 e até 12 cmH₂O, e os três restantes entre 12,1 e 15 cmH₂O.

As complacências medidas iniciais, de $0,74 \pm 0,65$ e mediana 0,56 ml/cmH₂O/kg, aumentaram para $0,88 \pm 0,86$ e mediana 0,66 ml/cmH₂O/kg no final ($p=0,01$). As complacências corrigidas aumentaram de $1,02 \pm 1,20$ e mediana 0,64 no início para $1,13 \pm 1,41$ e mediana 0,72 ml/cmH₂O/kg no final ($p=0,05$). Para a resistência inspiratória, os valores iniciais tiveram uma média de $13,5 \pm 6,7$ e mediana 12,9 cmH₂O/l/seg/kg e os finais uma média de $14,1 \pm 7,7$ e mediana 13,2 cmH₂O/l/seg/kg ($p<0,05$). A resistência expiratória permaneceu praticamente constante, com $15,0 \pm 8,6$ e mediana 14,6 cmH₂O/l/seg/kg no início e $15,7 \pm 9,4$ e mediana 14,4 cmH₂O/l/seg/kg no final ($p=0,06$).

Entre os parâmetros gasométricos, o pH aumentou de $7,37 \pm 0,12$ com mediana 7,40 para $7,42 \pm 0,05$ com mediana 7,40 ($p<0,05$), a PCO₂ diminuiu de $40,1 \pm 11,1$ com mediana 38,3 para $33,1 \pm 7,4$ com mediana 32,5 mmHg ($p<0,01$) e a PO₂ reduziu de $65,0 \pm 13,9$ com mediana 62,4 para $58,0 \pm 12,6$ com mediana 53,5 mmHg ($p<0,01$).

A PEEP total diminuiu de $7,2 \pm 3,9$ com mediana 5,7 cmH₂O no início para $6,2 \pm 3,5$ com mediana 4,7 cmH₂O após as manobras corretivas ($p<0,01$). A PEEP aplicada permaneceu praticamente inalterada, com variação de $1,8 \pm 1,2$ mediana 1,0 para $2,1 \pm 1,5$ mediana 2,2 cmH₂O

($p=0,30$). A auto-PEEP foi reduzida de $5,4 \pm 3,2$ mediana 4,7 para $4,1 \pm 2,6$ mediana 3,2 cmH₂O no final do estudo ($p<0,01$).

Os resultados descritos mostram que a redução na auto-PEEP em cerca de 20% esteve associada a variações significantes na mecânica respiratória e nos parâmetros gasométricos, caracterizadas por redução de cerca de 10% na pressão média de via aérea, 18% na PCO₂ e 11% na PO₂ e com aumento de 13% no volume corrente, 11% na complacência e de 4,5% nas resistências ins- e expiratória.

Discussão

Nos últimos anos, tem ocorrido um interesse considerável na avaliação das anormalidades funcionais respiratórias em recém-nascidos e lactentes. A monitorização da mecânica pulmonar, nestes pacientes, constitui um desafio para o pesquisador, já que a obtenção de resultados satisfatórios depende de um manuseio cuidadoso, rápido e preciso, e a repetição ou o retardo nas manobras são dificultados pela necessidade de cuidados freqüentes, pela duração da sedação e pela gravidade da doença subjacente.

Nos pequenos pacientes, hígidos e não cooperativos, os procedimentos são realizados durante o sono e com técnica pouco invasiva. Os casos mais graves necessitam sedação e procedimentos invasivos como o uso de cânulas endotraqueais. Para a monitorização da mecânica respiratória é importante que sejam evitados os erros devido ao vazamento de ar em torno do tubo. Deve ser ressaltado também que

Tabela 3 - Valores da mecânica respiratória e dos gases arteriais, no início e final do estudo

| Variável | Inicial | Final | p |
|--|--|--------------------|----------|
| | média ± desvio padrão (mediana) | | |
| Volume Corrente (ml) | 45,3 ± 19,1 (42,0) | 51,3 ± 22,9 (50,0) | p < 0,01 |
| Pressão Média de Via Aérea (cmH ₂ O) | 10,2 ± 3,1 (9,6) | 9,3 ± 2,3 (9,1) | p < 0,01 |
| Complacência Medida (ml/cmH ₂ O/kg) | 0,74 ± 0,65 (0,56) | 0,88 ± 0,86 (0,66) | p = 0,01 |
| Complacência Corrigida (ml/cmH ₂ O/kg) | 1,02 ± 1,20 (0,64) | 1,13 ± 1,41 (0,72) | p = 0,05 |
| Resistência Inspiratória (cmH ₂ O/l/seg/kg) | 13,5 ± 6,7 (12,9) | 14,1 ± 7,7 (13,2) | p < 0,05 |
| Resistência Expiratória (cmH ₂ O/l/seg/kg) | 15,0 ± 8,6 (14,6) | 15,7 ± 9,4 (14,4) | p = 0,06 |
| pH | 7,37 ± 0,12 (7,40) | 7,42 ± 0,05 (7,40) | p < 0,05 |
| PCO ₂ (mmHg) | 40,1 ± 11,1 (38,3) | 33,1 ± 7,4 (32,5) | p < 0,01 |
| PO ₂ (mmHg) | 65,0 ± 13,9 (62,4) | 58,0 ± 12,6 (53,5) | p < 0,01 |
| PEEP Aplicada (cmH ₂ O) | 1,8 ± 1,2 (1,0) | 2,1 ± 1,5 (2,2) | p = 0,30 |
| Auto-PEEP (cmH ₂ O) | 5,4 ± 3,2 (4,7) | 4,1 ± 2,6 (3,2) | p < 0,01 |
| PEEP Total (cmH ₂ O) | 7,2 ± 3,9 (5,7) | 6,2 ± 3,5 (4,7) | p < 0,01 |

o uso de cânulas endotraqueais de pequeno calibre implica na agregação de uma resistência considerável ao fluxo na via aérea.

Os dados da literatura sobre a medida da auto-PEEP em crianças são reduzidos e consistem em resultados de observações realizadas com as mesmas técnicas citadas para adultos, ou pela oclusão manual da conexão entre a cânula traqueal e o circuito de ventilação. São escassos também os estudos sobre auto-PEEP enfocando a monitorização completa das pressões, fluxos e volumes e das variáveis da mecânica respiratória: complacência, resistência, constantes de tempo, curvas pressão-volume e fluxo-volume.

A análise das informações obtidas pela história e exame físico, considerando os tipos de patologia que acometem o recém-nascido e o lactente, mostrou que o comportamento das variáveis freqüentemente não é compatível com a história clínica, provavelmente porque os componentes obstrutivos da via aérea e os parenquimatosos se superpõem, variando a sua repercussão durante a evolução da doença.

Foi observada a ocorrência freqüente de auto-PEEP nas crianças submetidas ao protocolo. Embora a amostra tenha sido pequena, a incidência de auto-PEEP de 76 % é compatível com o relato de outros autores^{8,16-18}. Mesmo em freqüências respiratórias reduzidas ou com tempos expiratórios acima de 0,7 segundos, a auto-PEEP esteve presente. Quando foi realizada a correção do tempo expiratório, a partir da constante de tempo dada pela multiplicação da resistência pela complacência corrigida, foi observado que em um caso o tempo ajustado foi inferior ao corrigido, equivalente em quatro e inferior em onze observações. Para

ajustar a sensibilidade na análise da incidência, alguns fatores devem ser considerados: a administração de sedativos e bloqueadores neuromusculares pode ter aumentado a complacência do sistema respiratório, prolongando a constante de tempo. O uso de cânulas com calibre suficiente para evitar vazamento e os balonetes insuflados eliminaram mecanismos protetores contra a auto-PEEP, talvez aumentando a sua incidência, já que o extravasamento em volta do tubo funciona como um mecanismo de diminuição da resistência ao fluxo expirado. A insuflação do balonete durante períodos inferiores a um minuto, suficiente para a realização de todo o procedimento, não representou risco adicional de trauma traqueal.

Devemos considerar que a maioria dos recém-nascidos inspira antes que tenha se completado uma expiração passiva, implicando numa capacidade residual funcional dinâmica maior do que a capacidade residual funcional estática, resultando no possível aparecimento de hiperinsuflação dinâmica, que desapareceria com a sedação²⁰.

Os procedimentos para a correção da auto-PEEP foram limitados pelas exigências do protocolo e pelos riscos para a oxigenação arterial. Os valores observados, considerando-se a faixa etária e a gravidade dos pacientes, são elevados e devem representar um comprometimento severo das pressões intratorácicas.

Entre os pacientes avaliados, a complacência medida média aumentou em 15% com a redução da auto-PEEP, aproximadamente vinte por cento abaixo dos valores descritos²¹⁻²³. Após a correção para a presença da auto-PEEP, o valor da complacência foi semelhante ao relatado na literatura. A diferença média entre as complacências medi-

da e corrigida foi de 28% no início do estudo e de 21% no final. Quando a pressão de retração elástica é igual à PEEP, não existe pressão adicional capaz de gerar fluxo expiratório e a medida da complacência está correta. Nos casos em que, ao final da expiração, a pressão alveolar permanece superior à pressão expiratória ajustada, ocorre a auto-PEEP e a medida direta da complacência não será válida. O valor correto será dado pela divisão do volume corrente pela diferença entre a pressão do platô inspiratório e a da PEEP total, que é a soma da PEEP com a auto-PEEP. A conclusão é que quanto maior a auto-PEEP, mais severa a subestimação da complacência "real" do sistema respiratório, quando se avalia apenas a complacência medida^{8,16,24}. Deve ser considerado também que, excluindo-se os lactentes, os valores da complacência seriam ainda mais baixos, refletindo a complacência comprometida em decorrência da disfunção alveolar, presente na maioria dos recém-nascidos estudados.

Em relação à resistência do sistema respiratório, o aumento observado foi estatisticamente significativo, e os resultados encontrados foram compatíveis com outros relatos da literatura. As médias descritas seriam mais elevadas se os pacientes estivessem todos no período neonatal. Os lactentes foram os responsáveis pela diminuição dos valores médios das resistências^{5,22,23}.

Em nossos pacientes, o uso de cânulas traqueais de pequeno calibre e a ação das válvulas expiratórias dos aparelhos de ventilação não aumentaram de forma significativa a resistência ao fluxo, quando comparada aos resultados de outros estudos clínicos e experimentais, provavelmente porque os fluxos de admissão foram os menores possíveis e as cânulas utilizadas tinham uma boa relação entre os diâmetros interno e externo^{7,23-25}. Nos pacientes intubados, a cânula traqueal de pequeno diâmetro interno agrega uma resistência significativa, aumentando a constante de tempo e a capacidade residual funcional dinâmica, que será, portanto, superior à capacidade residual funcional estática. Em pacientes paralisados, portanto, a medida da auto-PEEP poderá subestimar a auto-PEEP real nos casos em que a frequência respiratória espontânea seja superior à do aparelho de ventilação, o que ocorre frequentemente durante o manuseio de doença respiratória com o paciente não paralisado^{7,24,25}.

Nas dezesseis observações realizadas, o tempo expiratório ajustado pela rotina da unidade foi inferior ao tempo expiratório corrigido em apenas um caso, equivalente em quatro e superior em onze. Esses dados são importantes quando reconhecemos que a resistência pode mudar rápida e dramaticamente pela presença de secreção ou manipulação da via aérea em pacientes intubados e, portanto, o ajuste do tempo expiratório deve permitir uma margem de segurança suficiente para superar essas variações. Os tempos expiratórios ajustados empiricamente, sem o auxílio da monitorização, são habitualmente mais longos do que os indicados pela medida da constante de tempo, permitindo uma margem de segurança para a prevenção da auto-PEEP.

No entanto, quando se faz a correção da constante de tempo por meio da complacência corrigida, o tempo expiratório pode aumentar em mais de 100% nos casos de auto-PEEP acima de 10 cmH₂O, podendo ultrapassar os tempos ajustados.

O aumento na auto-PEEP, com a diminuição do tempo expiratório, tem implicações importantes na retirada progressiva da ventilação mecânica ("desmame"), devido ao padrão respiratório rápido e superficial que muitos pacientes apresentam nesta fase, resultando em hiperinsuflação dinâmica. A utilização da pressão inspiratória máxima como índice preditivo do sucesso no desmame da ventilação mecânica está comprometida na presença de auto-PEEP, considerando que a pressão inspiratória efetiva será a diferença entre a pressão inspiratória medida e a PEEP total.

Ocorreu um aumento no pH, que coincidiu com a diminuição da pressão intratorácica média e pode ter refletido uma melhora hemodinâmica pela decompressão do coração e dos vasos da base²⁶. A redução na PCO₂ observada também confirma os efeitos adversos da auto-PEEP, que contribui para o aumento do efeito espaço-morto e do efeito *shunt*, diminuindo a ventilação. A queda da PO₂ não foi corrigida durante a execução do protocolo, e a suspensão dos procedimentos ocorreu quando a saturação de pulso de oxigênio caiu para 90% ou menos, o que ocorreu em dois casos. Como a oxigenação arterial é dependente da pressão média de via aérea, é possível que a queda na PO₂ tenha sido consequência da diminuição da pressão intratorácica, podendo não comprometer e até melhorar o transporte sistêmico de oxigênio para os tecidos^{8,26,30}. Além disso, na prática, a diminuição da PO₂ pode ser neutralizada através de ajustes na fração inspirada de oxigênio.

A auto-PEEP afeta a mecânica respiratória e as trocas gasosas, aumenta o volume residual pulmonar e diminui a complacência. A redução da auto-PEEP diminui a pressão média de via aérea, aumenta a complacência pulmonar e o volume corrente e proporciona a melhora na ventilação alveolar.

Concluindo, este estudo teve por base uma questão primordial: "O que pode ser feito para reconhecer e reduzir os efeitos deletérios da auto-PEEP?" Em primeiro lugar, a presença de auto-PEEP deve ser suspeitada sempre que existirem fatores predisponentes e agravantes³¹. Sua incidência foi elevada, o que é compatível com outros relatos da literatura^{8,16,17,19}; a redução da auto-PEEP, na maioria dos pacientes, esteve associada à redução da pressão média de via aérea e do trabalho respiratório e ao aumento da complacência e do volume corrente. As alterações dos gases arteriais mostraram que a redução da auto-PEEP esteve associada à diminuição na pressão parcial de dióxido de carbono e de oxigênio.

Em segundo lugar, a validação de sistemas para a detecção e medida da auto-PEEP permite que se conheça a sua magnitude e a resposta às medidas corretivas. Terceiro, o conhecimento dos valores exatos da auto-PEEP implica

a correção dos valores da complacência e das constantes de tempo respiratórios, proporcionando índices reais do comprometimento da mecânica respiratória. Finalmente, deverão ser consideradas, na prática clínica, outras estratégias terapêuticas como o uso de broncodilatadores, sedativos e anti-edematosos e a remoção de secreções através de fisioterapia adequada. Essas condutas, associadas aos ajustes nos parâmetros da ventilação pulmonar mecânica, permitirão o suporte necessário até que a doença de base seja corrigida.

Agradecimento

Agradecemos a colaboração da Intermed Equipamento Médico Hospitalar Ltda., São Paulo-SP.

Referências bibliográficas

- Spitzer AR, Fox WW. Positive pressure ventilation: pressure-limited and time-cycled ventilators. In: Goldsmith JP, Karotkin EH. Assisted ventilation of the neonate. 3ª ed. Philadelphia: WB Saunders; 1996. p.167-186.
- Gregory GA, Kitterman JA, Phibbs RH, et al. Treatment of the idiopathic respiratory distress syndrome with continuous positive airway pressure. *N Engl J Med* 1971; 284:1333.
- Coates AL, Davis GM, Vallinis P, et al. Liquid-filled esophageal catheter for measuring pleural pressure in preterm neonates. *J Appl Physiol* 1989; 67:889-893.
- Dudell G, Cornish JD, Bartlett RH. What constitutes adequate oxygenation? *Pediatrics* 1990; 85:39.
- Haouzi P, Marchal F, Crance JP, et al. Respiratory mechanics in spontaneously breathing term and preterm neonates. *Biol Neonate* 1991; 60:350-360.
- Boros SJ. Variations in inspiratory-expiratory ratio and air pressure waveform during mechanical ventilation: the significance of mean airway pressure. *J Pediatr* 1979; 94:114.
- Lesouef PN, Englan SJ, Bryan AC. Passive respiratory mechanics in newborn and children. *Am Rev Respir Dis* 1984; 129:552-556.
- Simbruner G. Inadvertent positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated newborn infants: detection and effect on lung compliance and gas exchange. *J Pediatr* 1986; 108:589-595.
- Allen JL, Bar-Yishay E, Bryan AC, et al. Respiratory mechanics in infants: physiologic evaluation in health and disease. *Am Rev Respir Dis* 1993; 147:479.
- Pepe PE & Marini JJ. Occult positive end-expiratory pressure in mechanically ventilated patients with airflow obstruction. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126:166-170.
- Marini JJ. Should PEEP be used in airflow obstruction? *Am Rev Respir Dis* 1989; 140:1-3.
- Duncan SR, Rizk NW, Raffin TA. Inverse ratio ventilation: PEEP in disguise. *Chest* 1987; 3:390-391.
- Olinsky A, Bryan MH, Bryan AC. The influence of lung inflation on respiratory control in neonates. *J Appl Physiol* 1974; 36:426-429.
- Baydur A, Behrakis PK, Zin WA, Jaeger M, et al. A simple method for assessing the validity of the esophageal balloon technique. *Am Rev Respir Dis* 1982; 126:788-791.
- Beardmore CS, Helms P, Stocks J, et al. Improved esophageal balloon technique for use in infants. *J Appl Physiol* 1980; 49:735-742.
- Rossi A, Gottfried SB, Zocchi L, et al. Measurement of static compliance of the total respiratory system in patients with acute respiratory failure during mechanical ventilation: the effect of intrinsic positive end-expiratory pressure. *Am Rev Respir Dis* 1985; 131:672-7.
- Brown DG, Pierson DJ. Auto-PEEP is common in mechanically ventilated patients: A study of incidence, severity and detection. *Respir Care* 1986; 31:1069-1073.
- Madsen D, Jager K, Fenwick J, et al. Expiratory hold vs. clamping/transducing for intrinsic PEEP determination in the Siemens 900C. *Respir Care* 1994; 39:623-626.
- Wright J & Gong-Jr R. Auto-PEEP: Incidence, magnitude and contributing factors. *Heart Lung* 1990; 19:352-357.
- Stocks J, Dezateux C, Hoo A, et al. Delayed maturation of Hering-Breuer inflation reflex activity in preterm infants. *Am J Respir Crit Care Med* 1996; 154:1411-1417.
- Migdal M, Dreizzen E, Praud JP, et al. Compliance of the total respiratory system in healthy preterm and full-term newborns. *Pediatr Pulmonol* 1987; 3:214-218.
- Smith TC & Marini JJ. Impact of PEEP on lung mechanics and work of breathing in severe airflow obstruction. *J Appl Physiol* 1988; 65:1488-1499.
- Ramos JR, Odeh CSA, Lopes JMA. Pulmonary mechanics in the full-term newborn. *J Pediatr* 1994; 70:163-166.
- Broseghini C, Brandolese R, Poggi R, et al. Respiratory resistance and intrinsic positive end-expiratory pressure (PEEP) in patients with the adult respiratory distress syndrome (ARDS). *Eur Respir J* 1988; 1:726-731.
- Ferreira ACP, Carvalho WB, Bonassa J. Determinação da resistência ao fluxo aéreo em cânulas endotraqueais pediátricas. *J Pediatr* 1993; 69:380-384.
- Marini JJ, Ravenscraft SA. Mean Airway pressure: Physiologic determinants and clinical importance - Part 2: Clinical implications. *Crit Care Med* 1992; 20:1604-1616.
- Tobin MJ, Lodato RF. PEEP, Auto-PEEP, and Waterfalls. *Chest* 1989; 96:449-451.
- Ninane V, Yernault JC, Troyer A. Intrinsic PEEP in patients with chronic obstructive pulmonary disease: role of expiratory muscles. *Am Rev Respir Dis* 1993; 148:1037-1042.
- Petrof BJ, Legaré M, Goldberg P, et al. Continuous positive airway pressure reduces work of breathing and dyspnea during weaning from mechanical ventilation in severe chronic obstructive pulmonary disease. *Am Rev Respir Dis* 1990; 141:281-289.
- Greenough A, Chan V, Hird MF. Positive end expiratory pressure in acute and chronic respiratory distress. *Arch Dis Child* 1992; 67:320-323.
- Romand JA, Suter PM. Dynamic hyperinflation and intrinsic PEEP during mechanical ventilation. *Eur J Anaesthesiol* 1994; 11:25-28.

Endereço para correspondência:

Dr. Antônio Carlos Pires Ferreira

Rua Piauí, 1848 - ap. 103

CEP 30150-321 – Belo Horizonte - MG

Fone/Fax: (031) 282.2331