

AVALIAÇÃO DA PRESSÃO INSPIRATÓRIA MÁXIMA EM PACIENTES CRÍTICOS NÃO-COOPERATIVOS: COMPARAÇÃO ENTRE DOIS MÉTODOS

GUIMARÃES FS^{1,2}, ALVES FF³, CONSTANTINO SS⁴, DIAS CM¹ E MENEZES SLS¹

¹ Curso de Fisioterapia, Centro Universitário Augusto Motta, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

² Curso de Fisioterapia, Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

³ Hospital Universitário Clementino Fraga Filho, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

⁴ Hospital Central da Polícia Militar do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Correspondência para: Fernando Silva Guimarães, Centro Universitário Augusto Motta, Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Praça das Nações, nº 34, Bonsucesso, CEP 21041-010, Rio de Janeiro, RJ - Brasil, e-mail: fguimaraes@unisuam.edu.br

Recebido: 29/11/2006 - Revisado: 21/05/2007 - Aceito: 22/05/2007

RESUMO

Contextualização: A ventilação mecânica, embora necessária para o tratamento da insuficiência respiratória aguda, pode estar associada ao descondicionamento e à disfunção muscular respiratória. A avaliação da pressão inspiratória máxima (PiMáx) é utilizada para estimar a força muscular inspiratória de pacientes ventilados artificialmente, porém não há uma definição quanto à melhor forma de realizar esta medida. **Objetivo:** Comparar 2 métodos de avaliação da PiMáx, por meio de 4 protocolos diferentes, em pacientes não cooperativos ventilados artificialmente. **Método:** Foram avaliados 30 pacientes não cooperativos e em processo de desmame da ventilação mecânica. De acordo com a randomização em blocos, o Método de Oclusão Simples (MO) e o Método da Válvula Unidirecional (VU) foram aplicados com tempo de duração de 20 e 40 segundos para cada paciente. Adicionalmente, durante as medições em 40s, foi anotado o valor da PiMáx em 30s. **Resultados:** Os valores de PiMáx foram maiores em 40s do que em 20s para MO ($48,2 \pm 21,7$ vs $36 \pm 18,7$ cmH₂O; $p < 0,001$) e VU ($56,6 \pm 23,3$ vs $43,4 \pm 24$ cmH₂O; $p < 0,001$). Os valores de PiMáx foram maiores no método VU em 40s (VU40) do que MO em 40s (MO40) ($56,6 \pm 23,3$ vs $48,2 \pm 21,7$ cmH₂O; $p < 0,001$). Houve diferença entre VU em 30 e 40s ($51,5 \pm 20,8$ vs $56,6 \pm 23,3$ cmH₂O; $p < 0,001$). **Conclusão:** Em pacientes não-cooperativos, valores maiores de PiMax são obtidos com o método da válvula unidirecional com oclusão durante 40 segundos em comparação com os outros protocolos avaliados.

Palavras-chave: músculos respiratórios; avaliação; desmame do respirador; fisioterapia.

ABSTRACT

Maximal inspiratory pressure evaluation among non-cooperative critical patients: comparison between two methods

Background: Although mechanical ventilation is necessary for treating acute respiratory insufficiency, it may be associated with deconditioning and respiratory muscle dysfunction. Maximal inspiratory pressure (MIP) evaluation is used to estimate inspiratory muscle strength in artificially ventilated patients, but there is no definition as to the best way to make this measurement. **Objective:** To compare two methods for MIP evaluation, using four different protocols, among non-cooperative artificially ventilated patients. **Method:** Thirty non-cooperative patients undergoing the process of weaning off mechanical ventilation were evaluated. In accordance with block randomization, the simple occlusion method (OM) or the unidirectional valve method (UV) was applied to each patient for time periods of 20 and 40 seconds. Additionally, during the 40s measurements, the MIP value at 30s was recorded. **Results:** The MIP values were higher at 40s than at 20s, both from OM (48.2 ± 21.7 vs. 36 ± 18.7 cmH₂O; $p < 0.001$) and from UV (56.6 ± 23.3 vs. 43.4 ± 24 cmH₂O; $p < 0.001$). The MIP values were higher from UV at 40s (UV40) than from OM at 40s (OM40) (56.6 ± 23.3 vs. 48.2 ± 21.7 cmH₂O; $p < 0.001$). There was a difference between UV at 30 and 40s (51.5 ± 20.8 vs. 56.6 ± 23.3 cmH₂O; $p < 0.001$). **Conclusion:** Among non-cooperative patients, higher MIP values were obtained from the unidirectional valve method with 40s of occlusion than from the other protocols evaluated.

Key words: respiratory muscles; evaluation; weaning from respirator; physical therapy.

INTRODUÇÃO

É bem estabelecido que a ventilação mecânica é uma terapia essencial para pacientes com insuficiência respiratória aguda. Nesta situação, o suporte ventilatório faz-se necessário quando a demanda ventilatória torna-se superior à capacidade dos músculos respiratórios devido a uma série de condições clínicas¹. A ventilação mecânica reduz ou elimina a sobrecarga dos músculos respiratórios, porém também pode estar associada ao descondicionamento e disfunção muscular respiratória destes pacientes, juntamente com outros fatores, como a polineuropatia do paciente crítico, sepse e disfunção de múltiplos órgãos e sistemas^{2,3}. Quando as causas que produziram o aumento da demanda ventilatória estiverem resolvidas, o processo de liberação da ventilação mecânica deve ser iniciado, no entanto muitos pacientes apresentam fraqueza muscular respiratória capaz de contribuir para o insucesso deste procedimento⁴. A avaliação dos pacientes, antes de iniciar este processo, é importante, contribuindo para evitar a fadiga muscular respiratória e estabelecer estratégias mais apropriadas de liberação da ventilação mecânica. A forma mais usual de avaliar a função muscular respiratória de pacientes críticos é a medição da pressão inspiratória máxima (PiMáx)^{5,6}.

A utilidade da medida da PiMáx em pacientes ventilados mecanicamente tem sido demonstrada através do uso dos valores obtidos para prever o sucesso do desmame da ventilação mecânica. Em 1962, Bendixen e Bunker⁷ associaram a medição da pressão inspiratória máxima com a reserva ventilatória em um experimento com cães anestesiados. Em um trabalho subsequente, Wescott e Bendixen⁸ verificaram que uma pressão inspiratória máxima entre -20 e -30 cmH₂O, obtida de pacientes que sofreram bloqueio neuromuscular, era suficiente para considerar a transferência do paciente à sala de recuperação pós-anestésica. Após estes trabalhos, a aplicação deste tipo de medida para pacientes em fase de desmame da ventilação mecânica foi estabelecida no estudo clássico de Sahn e Lakshminarayan⁹. Os autores observaram que pacientes com uma PiMáx menor que -30 cmH₂O apresentavam bom prognóstico com relação ao desmame da ventilação mecânica, enquanto que pacientes com PiMáx maior que -20 cmH₂O falhavam no desmame. Devido a uma série de fatores, como desenho dos estudos (prospectivo ou retrospectivo), método de desmame e definição de sucesso ou insucesso, a acurácia da medida da PiMáx tem variado bastante entre diversos estudos. De modo geral, os estudos têm apresentado sensibilidade acima de 80% para valores de corte de -30 cmH₂O^{9,10,11}, -20 cmH₂O^{10,11,12,13} e até -15 cmH₂O¹¹. Uma vez que o sucesso no desmame depende de outros fatores, a especificidade tem sido muito baixa em todos os estudos, significando que os pacientes que falham no desmame não apresentam, necessariamente, uma PiMáx reduzida.

Na tentativa de tornar a medida da PiMáx mais reprodutível, Marini et al.¹⁴ descreveram o método da válvula unidirecional após a avaliação de 20 pacientes ventilados artificialmente. Após um pequeno período de ventilação espontânea, um dispositivo que permitia apenas a exalação foi acoplado à abertura das vias aéreas (válvula unidirecional). Desta forma, os pacientes eram obrigados a fazer um esforço progressivamente maior enquanto aproximavam-se do volume residual, em que a PiMáx observada correspondia ao valor máximo que o paciente podia gerar. Este valor era alcançado em 15 ou 20 segundos de oclusão. Apesar deste resultado, os valores de PiMáx medidos em pacientes críticos são usualmente subestimados e apresentam baixa reprodutibilidade^{15,16}. A identificação de formas confiáveis de avaliação da força muscular respiratória pode contribuir para o melhor acompanhamento do processo de desmame da ventilação mecânica, bem como o estabelecimento de estratégias de tratamento. O presente estudo teve por objetivo comparar 2 métodos de avaliação da pressão inspiratória máxima, por meio de 4 protocolos diferentes, em pacientes não cooperativos ventilados artificialmente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Amostra

Em um ensaio clínico cruzado e randomizado, foram avaliados 30 pacientes internados no Centro de Tratamento Intensivo do Hospital Central da Polícia Militar do Rio de Janeiro (Tabela 1). Os pacientes incluídos estavam sob assistência ventilatória invasiva, em processo de liberação ou desmame da ventilação mecânica. Indivíduos com instabilidade hemodinâmica, relação PaO₂/FiO₂ < 200, hipertensão intracraniana (PIC > 20 mmHg), sedação profunda (Ramsay ≥ 5), curarização, cirurgias abdominais com risco de evisceração, doença arterial coronariana ou insuficiência cardíaca grave não foram incluídos no estudo. O tamanho amostral foi calculado com o software Sigmastat 3.1, de acordo com os resultados de Caruso et al.¹⁷, considerando o teste ANOVA, poder de 80%, alfa= 5%, diferença esperada de 28% e desvio-padrão= 30%. O tamanho amostral foi estimado em 23 indivíduos.

O projeto foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa do Centro Universitário Augusto Motta (CEP-UNISUAM) sob o número 04/06. Todos os responsáveis assinaram o termo de consentimento livre e esclarecido, de acordo com a resolução 196/96 do CONEP.

Procedimentos

Para medição da pressão inspiratória máxima através do Método de Oclusão Simples (MO), os pacientes foram posicionados em decúbito dorsal, com a cabeceira elevada a 45°. O *cuff* foi hiperinsuflado para evitar escape durante a mensuração. Após aspiração traqueal, os pacientes

Tabela 1. Os dados referentes à idade e PaO_2/FiO_2 estão apresentados como média e desvio-padrão. O escore de gravidade (APACHE II) está apresentado como mediana (valor mínimo – valor máximo). H: homens, M: mulheres, PaO_2/FiO_2 : relação entre pressão parcial de oxigênio arterial e fração inspirada de oxigênio, APACHE II: escore de gravidade.

Características dos Indivíduos	
Sexo	16 H e 14 M
Idade (anos)	62,6 ± 17,7
PaO_2/FiO_2	334,4 ± 87,8
APACHE II	16 (10-26)
Motivo da Internação	Condições clínicas (insuficiência cardíaca congestiva - 2, pneumonia comunitária - 5, acidente vascular cerebral isquêmico - 3, pneumonia por broncoaspiração, encefalopatia anóxica, acidente vascular cerebral hemorrágico - 2, fibrilação atrial aguda): total: 15. Condições cirúrgicas (laparotomia exploradora – 9, retossigmoidectomia, drenagem de hematoma subaracnóideo - 3, artroplastia total de quadril, hernioplastia): total: 15.

permaneceram conectados ao ventilador mecânico para repouso durante cinco minutos. Para a medição, foi realizada a desconexão do ventilador mecânico e, após 10 segundos, um conector acoplado à via aérea artificial era ocluído manualmente ao final de uma expiração normal (nível da capacidade residual funcional). A PiMáx foi medida através da utilização do manômetro analógico Instrumentation Industries, com escala de ± 120 cmH₂O e incrementos de 2 cmH₂O. A oclusão foi mantida por 20 ou 40 segundos, de acordo com a randomização, computando-se o maior valor alcançado. Foram realizadas 3 medidas com intervalo de 2 minutos entre elas (durante o intervalo, o paciente foi conectado ao ventilador mecânico para repouso). Para medição da PiMáx através do Método da Válvula Unidirecional (VU), foi realizada a mesma seqüência de eventos, porém, no momento da medição, foi acoplada uma válvula unidirecional de baixa resistência (que só permitia a exalação) na abertura das vias aéreas.

Os procedimentos foram realizados de acordo com randomização em blocos de 10, considerando as duas formas de medição da pressão inspiratória máxima e os tempos utilizados (20 ou 40 segundos). Após a determinação da ordem das técnicas de medição (MO e VU), foram sorteados os respectivos tempos (20 ou 40s). A ordem dos tempos foi utilizada nas duas formas de avaliação (MO e VU) para o mesmo paciente. Dessa forma, todos os pacientes foram submetidos a todas as formas de avaliação, porém, em ordem diferente e de acordo com a randomização. Adicionalmente, durante as medições em 40 segundos, foram anotados os valores de PiMáx em 30 segundos, sem interrupção do teste. Entre as duas formas de avaliação, houve um intervalo de 30 minutos, em que o paciente permaneceu conectado ao ventilador mecânico. Durante todo o protocolo, não foram

modificados os parâmetros ventilatórios, e os pacientes receberam monitoração cardíaca e da saturação de oxigênio. Todas as medições foram realizadas por um mesmo avaliador.

A análise estatística foi realizada com o software SigmaStat 3.1, utilizando-se o Teste de Friedman para as comparações entre os tempos e métodos, e o Teste t-pareado para análise *pós-hoc*, em que foram comparados os resultados do método VU em 30 e 40 segundos. As diferenças foram consideradas significativas quando $p < 0,05$. Para as correlações, foi utilizado o teste de Pearson ou Spearman, de acordo com o tipo de variável e o resultado do teste de normalidade.

RESULTADOS

Os dados dos pacientes envolvidos no estudo estão descritos na tabela I. Não houve diferença entre os valores de PiMáx através do MO em 20s (MO20) e VU em 20s (VU20) ($36 \pm 18,7$ vs $43,1 \pm 24$ cmH₂O; $p > 0,05$). Os valores em 40s foram maiores do que em 20s para os métodos MO ($48,2 \pm 21,7$ vs $36 \pm 18,7$ cmH₂O; $p < 0,001$) e VU ($56,6 \pm 23,3$ vs $43,4 \pm 24$ cmH₂O; $p < 0,001$) (Figura 1). Os valores de PiMáx foram maiores no método VU em 40s (VU40) do que MO em 40s (MO40) ($56,6 \pm 23,3$ vs $48,2 \pm 21,7$ cmH₂O; $p < 0,001$) (Figura 1). Considerando-se as três medidas realizadas para obtenção do valor final de cada paciente, foi calculado o coeficiente de variação médio para cada protocolo utilizado: MO20= 0,2; MO40= 0,1; VU20= 0,16; VU40= 0,13. Na análise *pós-hoc*, considerando-se o tempo de 30 segundos, houve diferença entre VU em 30 e 40s ($51,5 \pm 20,8$ vs $56,6 \pm 23,3$ cmH₂O; $p < 0,001$) (Figura 1). Houve correlação significativa entre a idade dos pacientes e o valor de PiMáx medido por meio de VU40 ($r = -0,74$; $p < 0,001$) (Figura 2),

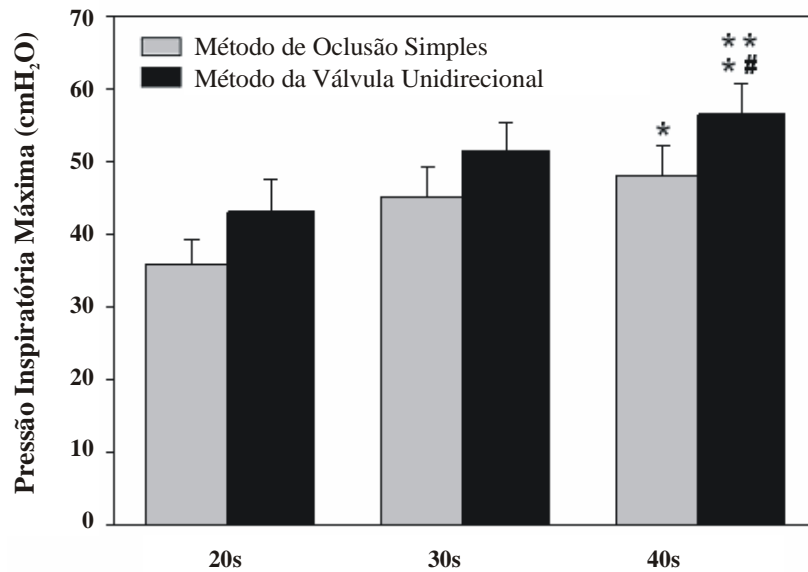


Figura 1. Comparação entre os métodos e protocolos de medição da pressão inspiratória máxima. * valores significativamente diferentes em relação ao método correspondente em 20s ($p < 0,001$). ** valores significativamente diferentes ao Método de Oclusão Simples em 40s ($p < 0,001$). # valores significativamente diferentes em relação ao Método da Válvula Unidirecional em 30s ($p < 0,001$) (análise pós-hoc – Teste t pareado).

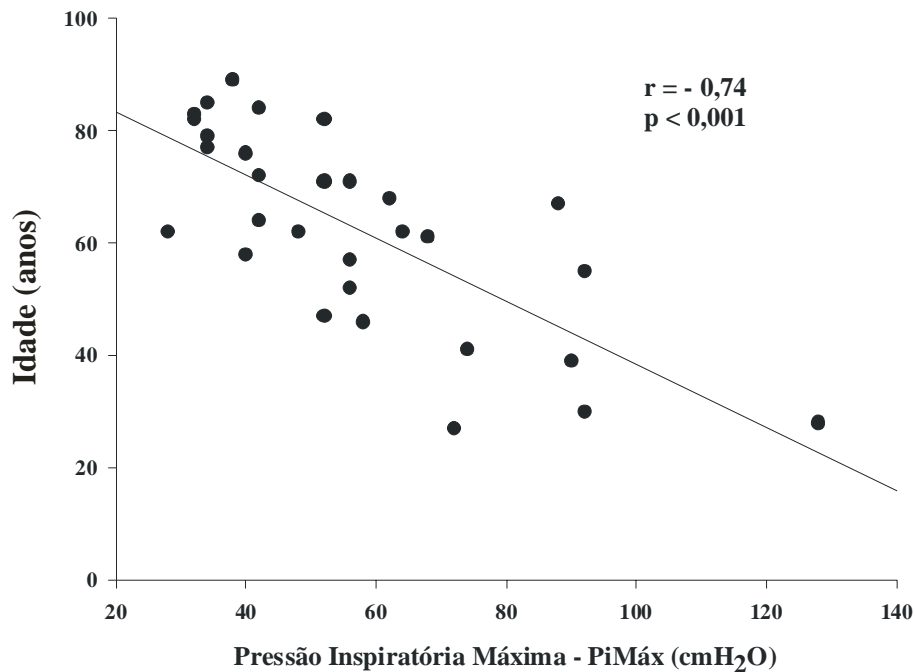


Figura 2. Correlação entre idade e pressão inspiratória máxima medida através do Método da Válvula Unidirecional com tempo de oclusão de 40s.

porém não foi observada correlação significativa entre os protocolos e o escore de gravidade (APACHE). A média de PiMáx foi menor nos indivíduos do sexo feminino (42,3 cmH₂O) do que nos do sexo masculino (69,1 cmH₂O). Considerando a equação de Black & Hyatt¹⁸ para o cálculo da PiMáx prevista para cada indivíduo da amostra, foram calculados os percentuais médios com relação ao predito para homens (60,4 %) e mulheres (62,5 %), não havendo diferença estatística entre os sexos ($p = 0,36$). Também não foi

observada diferença estatística para os percentuais com relação ao predito entre os pacientes com internação de causa clínica e cirúrgica (60,9 % vs 61,8 %; $p = 0,44$).

DISCUSSÃO

A avaliação da força muscular é prática comum e necessária para diversas intervenções fisioterapêuticas. Com relação ao desmame da ventilação mecânica, a função

muscular respiratória pode estar comprometida, determinando o insucesso do procedimento. Devido a sua alta sensibilidade para prever o sucesso do desmame, a avaliação da PiMáx é um procedimento comumente realizado, embora sua reprodutibilidade e acurácia sejam questionáveis¹⁹. Através do método da válvula unidirecional proposto por Marini et al.¹⁴ foi possível estabelecer uma forma mais reprodutível e que alcançasse maiores valores de PiMáx do que o método de oclusão simples ao final da expiração. Neste estudo, ao contrário de Marini et al.¹⁴, não se encontraram diferenças estatisticamente significativas entre os dois métodos quando da avaliação em 20s. Os valores encontrados com o método de oclusão simples, no presente estudo, foram em média 19,38% menores do que no método da válvula unidirecional, contra uma diferença média de 34% no estudo de Marini et al.¹⁴. Apesar de o tamanho amostral ter sido maior (n= 30) do que o do estudo de Marini et al.¹⁴ (n= 20), talvez o desenho deste estudo tenha atenuado as diferenças entre os métodos, mesmo com a randomização e os intervalos para repouso, visto que muitas medidas foram realizadas para o mesmo indivíduo no mesmo dia, o que pode ter causado algum grau de fadiga. Marini et al.¹⁴ também observaram que o método da válvula oclusora poderia ser aplicado independentemente da participação do paciente, porém seu estudo não foi desenhado especificamente para avaliar esta possibilidade. Em 1992, Truwit & Marini²⁰ finalmente validaram a aplicação do método para pacientes pouco cooperativos, contanto que apresentassem uma pressão de oclusão em 100ms ($P_{0,1}$) maior do que 2 cm H₂O. Este estudo teve por objetivo medir a PiMáx sem cooperação dos pacientes ou alguma forma de orientação especial, porém, como a $P_{0,1}$ não foi avaliada, pacientes com *drive* ventilatório reduzido podem ter sido incluídos. Neste caso, o tempo de 20s pode ter sido insuficiente para que o *drive* ventilatório aumentasse significativamente nos dois métodos, atenuando as diferenças entre eles. Os resultados do estudo de Truwit & Marini²⁰ reforçam esta hipótese, uma vez que os autores encontraram uma média de PiMáx ainda maior do que a do presente estudo para medidas com a válvula unidirecional em pacientes com $P_{0,1} < 2$ cmH₂O ($49,9 \pm 24,6$ cmH₂O vs $43,8 \pm 25,1$ cmH₂O).

A reprodutibilidade interexaminador das medidas de PiMáx tem sido questionada por diversos estudos^{15,16,17}. Neste, todas as medidas foram feitas pelo mesmo avaliador, objetivando minimizar este efeito. Quanto à variabilidade das 3 medidas realizadas em cada método, encontrou-se um coeficiente de variação considerado aceitável e semelhante ao observado por outros autores^{15,17,21}, com exceção da medida em MO20, que apresentou um coeficiente de variação médio de 20%. Este resultado aponta para uma necessidade maior de estimulação verbal quando o MO20, for utilizado, objetivando melhorar a reprodutibilidade, especialmente em pacientes pouco cooperativos.

De acordo com Vitacca et al.¹⁹, apesar dos esforços das sociedades européia e americana para padronização da medição

da PiMáx²², ainda se necessita de uma padronização mais adequada, visto a grande diversidade de métodos, resultados e situações clínicas em que a medida é realizada. Considerando que a medida pode ser necessária em pacientes com *drive* ventilatório reduzido, o aumento do tempo inspiratório para potencializar o esforço do paciente pode ser uma alternativa ao estímulo verbal, principalmente para os pacientes que, por algum motivo, não interagem adequadamente com o examinador. Isto pôde ser observado através dos valores mais negativos de PiMáx para o método de oclusão em 40s. Alguns autores utilizaram estratégias para aumentar o *drive* ventilatório dos pacientes, tais como o próprio método da válvula unidirecional¹⁴ e o aumento do espaço morto²⁰. Com esta mesma finalidade, assim como no estudo de Marini et al.¹⁴, neste estudo, implementou-se um breve período de ventilação espontânea (10s) antes de se realizarem todas as medições.

O valor de PiMáx em 30s foi anotado durante a medida em 40s, sendo esta uma informação complementar, visto que o desenho do estudo não incluiu esta forma de avaliação para a randomização. Em uma análise *pós-hoc*, comparando-se os valores em 30 e 40s, houve diferença estatística. Este resultado é bastante sugestivo de que a melhor forma de fazer a medição da PiMáx, sem contar com a cooperação dos pacientes, é por meio da válvula unidirecional com uma oclusão de 40s. Mais estudos são necessários para confirmar este resultado, utilizando desenhos específicos em que sejam comparados tempos diferentes de oclusão utilizando o método da válvula unidirecional. Pacientes cooperativos geralmente possuem *drive* ventilatório normal e, como já citado, não apresentam valores maiores de PiMáx com o estímulo verbal. Desta forma, a oclusão prolongada pode ser uma forma universal de aplicação do método, alcançando valores mais confiáveis de PiMáx para pacientes cooperativos ou não.

O uso de corticoesteróides e de outras drogas que podem comprometer a função muscular respiratória não foi controlado durante o estudo, bem como o estado nutricional dos pacientes e o tempo de ventilação mecânica. Provavelmente devido à heterogeneidade da amostra com relação a estes fatores, não foi observada diferença significativa entre o percentual do valor de PiMáx predito por meio da equação de Black e Hyatt¹⁸ entre os pacientes com internação de causa clínica e cirúrgica. Apesar deste caráter multifatorial na determinação da PiMáx, encontrou-se correlação significativa entre a idade dos pacientes e o valor de PiMáx, bem como diferenças entre as médias dos valores absolutos de cada sexo (os valores foram 38,8 % menores para o sexo feminino). Estes resultados estão de acordo com o estudo clássico de Black & Hyatt¹⁸, em que os autores descreveram uma equação para estimar o valor da PiMáx de acordo com idade e sexo. Apesar das diferenças encontradas nos valores absolutos de PiMáx, por meio da utilização desta equação, foi possível observar que não houve diferença significativa para a média dos percentuais abaixo do predito entre os sexos.

Conforme citado anteriormente, os valores estabelecidos como limiares para definir fraqueza muscular inspiratória importante e aptidão para o desmame de pacientes ventilados mecanicamente são arbitrários (situando-se entre -20 e -30 cmH₂O), não considerando idade e sexo dos pacientes. Talvez a consideração destas variáveis seja relevante para o estabelecimento de limiares específicos para cada paciente, aumentando o poder preditivo da PiMáx no processo de avaliação do desmame.

Em vista dos resultados observados, conclui-se que, em pacientes não-cooperativos, valores maiores de PiMáx são obtidos com o método da válvula unidirecional com oclusão durante 40 segundos em comparação com os outros protocolos avaliados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- McIntyre NR. Respiratory mechanics in the patient who is weaning from the ventilator. *Respir Care*. 2005;50:275-84.
- Gayan-Ramirez G, Decramer M. Effects of mechanical ventilation on diaphragm function and biology. *Eur Respir J*. 2002;20:1579-86.
- Moxham J, Goldstone J. Assessment of respiratory muscle strength in the intensive care unit. *Eur Respir J*. 1994;7:2057-61.
- McIntyre NR, Cook DJ, Ely EW, Epstein SK, Fink JB, Heffner JE, et al. Evidence-based guidelines for weaning and discontinuing ventilatory support. *Chest*. 2001;120 Suppl 6:S375-95.
- Clanton TL, Diaz PT. Clinical assessment of the respiratory muscles. *Phys Ther*. 1995;75:983-95.
- Tobin MJ, Brochard L, Rossi A. Assessment of respiratory muscle function in the intensive care unit. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166:610-23.
- Bendixen HH, Bunker JP. Measurements of inspiratory force in anesthetized dogs. *Anesthesiology*. 1962;23:315-23.
- Wescott DA, Bendixen HH. Neostigmine as a curare antagonist: a clinical study. *Anesthesiology*. 1962;23:324-32.
- Sahn SA, Lakshminarayan S. Bedside criteria for discontinuation of mechanical ventilation. *Chest*. 1973;63:1002-5.
- Fiastro JF, Habib MP, Shon BY, Campbell SC. Comparison of standard weaning parameters and mechanical work of breathing in mechanically ventilated patients. *Chest*. 1988;94:232-8.
- Yang K, Tobin MJ. A prospective study of indexes predicting outcome of trials of weaning from mechanical ventilation. *N Engl J Med*. 1991;324:1445-50.
- Sasson CSH, Mahutte CK. Airway occlusion pressure and breathing pattern as predictors of weaning outcome. *Am Rev Respir Dis*. 1993;148:860-6.
- Chatilla W, Jacob B, Guaglionone D, Mantous CA. The unassisted respiratory rate-to-tidal volume ratio accurately predicts weaning outcome. *Am J Med*. 1996;101:61-7.
- Marini JJ, Smith TC, Lamb V. Estimation of inspiratory muscle strength in mechanically ventilated patients: the measurement of maximal inspiratory pressure. *J Crit Care*. 1986;1:32-8.
- Multz AS, Aldrich TK, Prezand DJ, Karpel JP, Hendler JM. Maximal inspiratory pressure is not a reliable test of inspiratory muscle strength in mechanically ventilated patients. *Am Rev Respir Dis*. 1990;142:529-32.
- Polese G, Serra A, Rossi A. Respiratory mechanics in the intensive care unit. *Eur Respir Mon*. 2005;31:195-206.
- Caruso P, Friedrich C, Denari SDC, Ruiz SAL, Deheinzelin D. The unidirectional valve is the best method to determine maximal inspiratory pressure during weaning. *Chest*. 1999;115:1096-101.
- Black LF, Hyatt RE. Maximal respiratory pressures: normal values and relationship to age and sex. *Am Rev Resp Dis*. 1969;99(5):697-702.
- Vitacca M, Paneroni M, Bianchi E, Clini E, Vianello A, Ceriana P, et al. Maximal inspiratory and expiratory pressure measurement in tracheotomised patients. *Eur Respir J*. 2006;27:343-9.
- Truwit JD, Marini JJ. Validation of a technique to assess maximal inspiratory pressure in poorly cooperative patients. *Chest*. 1992;102:1216-9.
- Aldrich TK, Spiro P. Maximal inspiratory pressure: does reproducibility indicate full effort? *Thorax*. 1995;50:40-3.
- ATS/ERS Statement on respiratory muscle testing. *Am J Respir Crit Care Med*. 2002;166:518-624.