

Efeitos agudos da hiperinsuflação com o ventilador com aumento do tempo inspiratório sobre a mecânica respiratória: ensaio clínico cruzado randomizado

Acute effects of ventilator hyperinflation with increased inspiratory time on respiratory mechanics: randomized crossover clinical trial

1. Laboratório de Pesquisa em Fisioterapia Pneumofuncional e Intensiva, Institutos Superiores de Ensino do CENSA - Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil.
2. Unidade de Terapia Intensiva, Hospital Geral de Guarus - Campos dos Goytacazes (RJ), Brasil.

RESUMO

Objetivo: Avaliar os efeitos da hiperinsuflação com o ventilador sobre a mecânica respiratória.

Métodos: Foi realizado ensaio clínico cruzado randomizado com 38 pacientes ventilados mecanicamente com infecção pulmonar. A ordem da hiperinsuflação ou controle (sem alterações nos parâmetros) foi randomizada. A hiperinsuflação foi realizada por 5 minutos no modo ventilação com pressão controlada, com aumentos progressivos de 5cmH₂O até atingir pressão máxima de 35cmH₂O, mantendo-se a pressão positiva expiratória final. Após atingir 35cmH₂O, o tempo inspiratório e a frequência respiratória foram ajustados para que os fluxos inspiratório e expiratório atingissem a linha de base, respectivamente. As medidas de complacência estática, resistências total e de vias aéreas e pico de fluxo expiratório foram avaliadas antes, imediatamente após a manobra e após aspiração. Foi utilizada a análise de variância *two-way* para medidas repetidas com pós-teste de Tukey, considerando significativo $p < 0,05$.

Resultados: A hiperinsuflação com o ventilador aumentou a complacência estática, mantendo-se após aspiração ($46,2 \pm 14,8$ versus $52,0 \pm 14,9$ versus $52,3 \pm 16,0$ mL/cmH₂O; $p < 0,001$). Houve aumento transitório da resistência de vias aéreas ($6,6 \pm 3,6$ versus $8,0 \pm 5,5$ versus $6,6 \pm 3,5$ cmH₂O/L.s⁻¹; $p < 0,001$) e redução transitória do pico de fluxo expiratório ($32,0 \pm 16,0$ versus $29,8 \pm 14,8$ versus $32,1 \pm 15,3$ Lpm; $p < 0,05$) imediatamente após a manobra, com redução após aspiração traqueal. Não foram observadas modificações no controle e nem alterações hemodinâmicas.

Conclusão: A hiperinsuflação com o ventilador promoveu aumento da complacência associado ao aumento transitório da resistência de vias aéreas e do pico de fluxo expiratório, com redução após aspiração.

Descritores: Modalidades de Fisioterapia; Respiração artificial; Terapia respiratória/métodos; Unidades de cuidados respiratórios; Mecânica respiratória; Respiração com pressão positiva

Registrado em: Clinicaltrials.gov - NCT03630510.

Conflitos de interesse: Nenhum.

Submetido em 21 de agosto de 2018

Aceito em 21 de fevereiro de 2019

Autor correspondente:

Luciano Matos Chicayban
Institutos Superiores de Ensino do CENSA
Rua Salvador Correa, 139 - Centro
CEP: 28035-310 - Campos dos Goytacazes (RJ),
Brasil
E-mail: lucianochicayban@gmail.com

Editor responsável: Alexandre Biasi Cavalcanti

DOI: 10.5935/0103-507X.20190052

INTRODUÇÃO

Os pacientes internados apresentam produção excessiva de muco e prejuízo do mecanismo de *clearance* mucociliar.⁽¹⁾ Alguns fatores, como decúbito prolongado, condições neurodegenerativas, idade avançada e tabagismo, podem dificultar a mobilização e a eliminação do muco e/ou diminuir a efetividade da tosse.⁽²⁾ Além disso, algumas doenças têm o potencial de aumentar a produção de secreções nas vias aéreas, como pneumonia, bronquiectasia, doença pulmonar

obstrutiva crônica, fibrose cística e asma.⁽³⁾ Assim, o acúmulo de secreções nas vias aéreas decorre da combinação da doença de base e da atividade mucociliar anormal, devido às alterações na produção e composição do muco, na estrutura e função ciliar, e no mecanismo de tosse.⁽⁴⁾

Quando ventilados mecanicamente, os principais determinantes para o aumento da viscosidade do muco e das alterações do *clearance* mucociliar são as alterações no sistema mucociliar, a via aérea artificial, as complicações relacionadas ao imobilismo, a fraqueza muscular adquirida com impacto na efetividade da tosse e a umidificação inadequada.^(1,5) Estes fatores estão relacionados ao aumento do risco de retenção de secreção e ao desenvolvimento de atelectasia por obstrução das vias aéreas, podendo causar prejuízo nas trocas gasosas, infecção pulmonar e fibrose, além de redução progressiva da complacência pulmonar.^(1,6)

A manobra de hiperinsuflação pode ser realizada manualmente (MHI), por meio de um ressuscitador manual ou bolsa de anestesia, ou do ventilador mecânico (HVM). A HVM foi descrita inicialmente por Berney e Denehy,⁽⁷⁾ e consiste em aumentar o volume inspirado, por meio de ajustes no modo e/ou nos parâmetros do ventilador mecânico. Tem o objetivo de mobilizar e remover as secreções pulmonares das vias aéreas periféricas, para atenuar as complicações associadas à sua retenção.^(8,9) Embora não existam evidências de diferenças entre MHI e HVM sobre o *clearance* de secreções, mecânica respiratória ou oxigenação,⁽¹⁰⁾ a HVM tem vantagens relacionadas à prevenção da desconexão do ventilador e ao controle das variáveis ventilatórias.⁽³⁾ No entanto, a forma de aplicação da HVM merece destaque. Os estudos realizados demonstram grande variabilidade entre as modalidades ventilatórias utilizadas, e alguns são pouco claros em relação ao ajuste preciso dos parâmetros ventilatórios. Os ajustes ventilatórios têm o potencial de influenciar no movimento das secreções e na distribuição do gás nas vias aéreas distais, podendo modificar os efeitos terapêuticos.^(11,12)

Este é o primeiro estudo a realizar a manobra HVM no modo ventilação controlada à pressão (PCV), com ajuste individualizado do tempo inspiratório de acordo com a mecânica respiratória, por meio da curva de fluxo *versus* tempo. A hipótese deste estudo é a de que o ajuste do tempo inspiratório pode otimizar a distribuição da ventilação e aumentar o volume inspirado, produzindo efeitos terapêuticos adicionais sobre o deslocamento de secreções e mecânica respiratória.

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos da manobra de HVM sobre a mecânica do sistema respiratório em pacientes ventilados mecanicamente.

MÉTODOS

Foi realizado um ensaio clínico cruzado randomizado com 38 pacientes adultos ventilados mecanicamente no Hospital Geral de Guarus, Campos dos Goytacazes (RJ). O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa dos Institutos Superiores de Ensino do CENSA (ISECENSA), e os responsáveis pelos pacientes assinaram o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.

Foram incluídos no estudo os pacientes com idade maior que 18 anos, com infecção pulmonar, ventilados mecanicamente por mais de 96 horas pelos modos ventilação com pressão de suporte (PSV) ou PCV, complacência estática ($C_{est,ST}$) entre 25 e 70 mL/cmH₂O e pressão positiva expiratória final (PEEP) entre 5 e 8 cmH₂O. Foram excluídos do estudo os pacientes com instabilidade hemodinâmica, verificada pela pressão arterial média menor que 70 mmHg ou altas doses de aminas vasoativas, derrame pleural ou pneumotórax não drenados, hipertensão intracraniana, broncoespasmo verificado pela ausculta pulmonar, síndrome do desconforto respiratório no adulto (SDRA) ou insuficiência cardíaca congestiva descompensada.

Intervenção

A ordem de execução das intervenções foi determinada aleatoriamente, com intervalo de 6 horas, em 2 blocos de 20 pacientes. A ordem da HVM ou controle (CTRL) foi gerada por permuta no computador e colocada em envelopes numerados de 1 a 20, totalizando 40 envelopes. Os envelopes eram abertos sequencialmente no momento da coleta de dados. O processo de randomização foi ocultado do pesquisador.

Para a realização de ambas as intervenções, os pacientes foram posicionados em decúbito dorsal com cabeceira elevada a 45° e submetidos à aspiração traqueal fechada, de acordo com as recomendações da *American Association for Respiratory Care* (AARC).⁽¹³⁾ Além disso, foi realizada a troca do filtro bacteriológico, aumento da pressão do *cuff* e verificação de vazamentos nos circuitos do ventilador mecânico.

A manobra HVM com ajuste do tempo inspiratório foi realizada no modo PCV. A pressão inspiratória foi aumentada gradativamente a cada 5 cmH₂O até atingir pressão máxima de 35 cmH₂O, de acordo com a tolerância do paciente determinada pela ausência de tosse. A PEEP permaneceu inalterada durante todo o estudo. Após atingir pressão máxima de 35 cmH₂O (nível de PCV + PEEP), o tempo inspiratório foi aumentado gradativamente, até que o fluxo inspiratório atingisse a linha de base. Concomitante,

a frequência respiratória foi diminuída, para permitir que o fluxo expiratório também atingisse a linha de base, para evitar auto-PEEP. A manobra foi realizada por 5 minutos, seguida de aspiração traqueal. Para realização do CTRL, os pacientes foram apenas posicionados e aspirados, sem alteração nos parâmetros ventilatórios.

Avaliação

A mecânica do sistema respiratório foi realizada antes (PRÉ), imediatamente após a HVM ou CTRL (PÓS_{imed}) e 10 minutos após aspiração (PÓS_{asp}), por ventilador Vela (Bird Products Corporation; Palm Springs, Califórnia, EUA). Foi utilizado o método de oclusão ao fim da inspiração no modo ventilação controlada a volume (VCV), fluxo constante de 40L/minuto e pausa inspiratória de 3 segundos. Todos os pacientes encontravam-se sedados com Ramsay 6. A tela do ventilador foi “congelada” para obtenção das pressões máxima, P1 (ponto que separa a queda rápida e lenta de pressão imediatamente após a pausa), de platô e PEEP, possibilitando o cálculo da $C_{est, sr}$, resistências total (R_{sr}) e de vias aéreas (R_{va}) e pico de fluxo expiratório (PFE). Foram efetuadas três medidas consecutivas aceitáveis em cada instante, sendo utilizada a média de duas medidas com menor desvio padrão. Cada medida foi considerada aceitável se não fossem detectadas deflexões nas curvas de fluxo e pressão e/ou a ausência de platô ao longo da pausa inspiratória, por sugerir interferência do paciente e presença de vazamentos, respectivamente.

A hemodinâmica (frequência cardíaca e pressão arterial média) e a saturação periférica de oxigênio foram monitoradas durante todo o protocolo, em monitor multiparamétrico DIXTAL 2030 (Biomédica Ind. e Com. LTDA; São Paulo, Brasil). O desenho do estudo pode ser observado na figura 1.

Análise estatística

As medidas de mecânica realizadas antes, imediatamente após intervenção e após aspiração foram analisadas pela análise de variância (Anova) *two-way* para medidas repetidas com pós-teste de Tukey para os resultados que apresentassem distribuição normal e homogeneidade de variâncias, verificadas pelo teste de Shapiro-Wilk e mediana de Levene, respectivamente. Caso a distribuição não fosse normal, era utilizado o teste de Friedman. Foi utilizado um nível de significância de 5%. Para análise dos resultados, foi utilizado o programa SigmaPlot® 12.01 (Systat Software Inc.; Richmond, Califórnia, EUA).

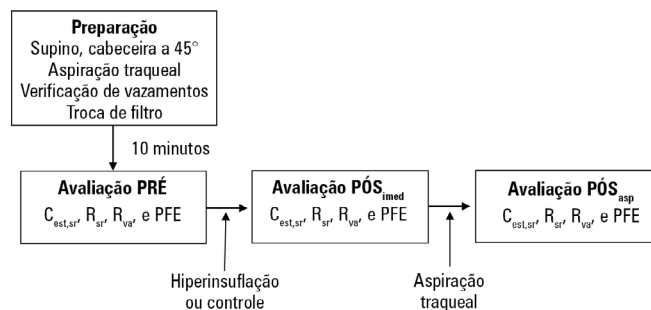


Figura 1 - Desenho do estudo. PÓS_{imed} - imediatamente após; PÓS_{asp} - após aspiração; $C_{est, sr}$ - complacência estática; R_{sr} - resistência total; R_{va} - resistência de vias aéreas; PFE - pico de fluxo expiratório.

RESULTADOS

Foram analisados 38 pacientes no período de agosto de 2017 a março de 2018. No dia da realização do estudo, todos os pacientes estavam em intubação orotraqueal (TOT) ou traqueostomizados (TQT), acoplados à ventilação mecânica em modo VCV ou PCV. Na tabela 1, estão apresentadas as características da amostra.

Tabela 1 - Características da amostra

Características	
Idade, anos,	59,4 (15,3)
Sexo feminino	20 (52,6)
Tempo de ventilação, dias	14,3 (2,7)
PaO ₂ /FiO ₂	301,9 (112,7)
Modo ventilatório inicial, PSV	22 (57,9)
Diagnóstico	
AVC	17 (44,7)
Sepse	8(21,0)
DPOC	6 (15,7)
EAP	2 (10)
IRC	2 (10)

PaO₂ - pressão parcial de oxigênio; FiO₂ - fração inspirada de oxigênio; PSV - ventilação com pressão de suporte; AVC - acidente vascular cerebral; DPOC - doença pulmonar obstrutiva crônica; EAP - edema agudo de pulmão; IRC - insuficiência renal crônica. Resultados expressos por média (desvio padrão) ou n (%).

A HVM com ajuste de tempo aumentou a $C_{est, sr}$ imediatamente após a manobra, na comparação com o pré ($p < 0,001$), mantendo-se após a aspiração traqueal ($p = 0,950$). Na comparação entre HVM e CTRL, a $C_{est, sr}$ foi maior na HVM no pós-imedato ($47,8 \pm 2,8$ versus $43,2 \pm 2,6$ mL/cmH₂O; $p < 0,001$) e após aspiração ($48,1 \pm 2,9$ versus $43,3 \pm 2,5$ mL/cmH₂O; $p < 0,001$), sem diferenças no pré ($42,4 \pm 2,6$ versus $42,6 \pm 2,5$ mL/cmH₂O; $p = 0,837$). Os valores estão demonstrados na tabela 2.

Tabela 2 - Mecânica do sistema respiratório

	Pré	Pós imediato	Pós-aspiração
$C_{est, sr}$ (mL/cmH ₂ O)			
HVM	46,2 ± 14,8	52,0 ± 14,9* (14,0%)	52,3 ± 16,0* (0,9%)
Controle	46,8 ± 12,8	47,7 ± 13,4 (2,3%)	47,7 ± 12,7 (0,5%)
Valor de p	0,44	< 0,001	< 0,001
R_{sr} (cmH ₂ O/L.s ⁻¹)			
HVM	15,0 ± 5,4	16,8 ± 6,2* (13,9%)	16,3 ± 6,3* (-2,4%)
Controle	15,0 ± 5,6	15,3 ± 5,6 (2,8%)	14,9 ± 5,4 (1,7%)
Valor de p	0,97	0,02	0,04
R_{va} (cmH ₂ O/L.s ⁻¹)			
HVM	6,6 ± 3,6	8,0 ± 5,5* (24,1%)	6,6 ± 3,5 [†] (-13,6%)
Controle	6,8 ± 3,8	6,7 ± 3,9 (0,5%)	6,6 ± 3,8 (-0,1%)
Valor de p	0,25	0,01	0,48
PFE (Lpm)			
HVM	32,0 ± 16,0	29,8 ± 14,8* (-3,0%)	32,1 ± 15,3 [†] (8,9%)
Controle	32,9 ± 15,8	32,5 ± 16,1 (-0,2%)	32,4 ± 15,8 (0,6%)
Valor de p	0,24	0,21	0,16

$C_{est, sr}$ - complacência estática; HVM - hiperinsuflação com ventilador mecânico; R_{sr} - resistência total; R_{va} - resistência das vias aéreas; PFE - pico de fluxo expiratório. * Diferenças estatisticamente significativas em relação ao pré ($p < 0,001$); [†] diferenças estatisticamente significativas em relação ao pós-imediato ($p < 0,001$). Análise de variância *two-way* para medidas repetidas com pós-teste de Tukey. Resultados expressos por média ± desvio padrão.

As variáveis R_{sr} , R_{va} e PFE aumentaram após HVM. A R_{sr} aumentou imediatamente após a HVM, sem redução estatisticamente significativa após aspiração traqueal ($p = 0,165$). Comparando HVM e CTRL, a R_{sr} foi maior no HVM no pós-imediato ($16,9 \pm 1,0$ versus $15,5 \pm 0,9$ cmH₂O/L.s⁻¹; $p = 0,021$) e após aspiração ($16,3 \pm 1,0$ versus $15,1 \pm 0,8$ cmH₂O/L.s⁻¹; $p = 0,037$), sem diferenças no pré ($15,1 \pm 0,8$ versus $15,1 \pm 0,9$ cmH₂O/L.s⁻¹; $p = 0,974$). A R_{va} aumentou imediatamente após a HVM ($p < 0,001$), retornando aos valores basais após aspiração ($6,5 \pm 0,5$ versus $7,7 \pm 0,8$ versus $6,5 \pm 0,5$ cmH₂O/L.s⁻¹; $p < 0,001$). Comparando HVM e CTRL, só houve diferença no pós-imediato ($p = 0,005$), sem diferenças no pré ($p = 0,735$) ou após aspiração ($p = 0,837$). O PFE diminuiu imediatamente após a HVM ($p = 0,034$), retornando aos valores basais após aspiração ($32,0 \pm 16,0$ versus $29,8 \pm 14,8$ versus $32,1 \pm 15,3$ Lpm; $p = 0,021$). Comparando HVM e CTRL, só houve diferença no pós-imediato ($p = 0,041$), sem diferenças no pré ($p = 0,243$) ou após aspiração ($p = 0,350$). Não foram observadas modificações na R_{sr} , R_{va} ou PFE no CTRL.

Durante a execução da HVM, o volume inspirado aumentou quando o modo PCV foi ajustado e após o ajuste de tempo ($404,0 \pm 85,2$ versus $878,2 \pm 219,2$ versus $993,2 \pm 345,2$ mL). Os volumes aumentaram em $117,7 \pm 32,9\%$ no modo PCV e $144,6 \pm 65,6\%$ após ajuste do tempo inspiratório. O tempo inspiratório obtido na HVM foi

de $1,41 \pm 0,35$ segundo. Durante todo o protocolo, não foram observadas modificações na frequência cardíaca, na pressão arterial ou na saturação periférica de oxigênio em ambos os grupos.

DISCUSSÃO

Os resultados deste estudo demonstraram que a HVM por 5 minutos, no modo PCV com acréscimo do tempo inspiratório, promoveu deslocamento de secreções, verificado por meio do comportamento da mecânica do sistema respiratório. O aumento transitório da resistência total, de vias aéreas, da queda lenta de pressão e do PFE sugere deslocamento das secreções pulmonares das vias aéreas periféricas para regiões mais centrais. O deslocamento de secreções promove expansão/recrutamento de unidades colapsadas e/ou com elevadas constantes de tempo, com consequente aumento da $C_{est, sr}$. Este efeito se deve ao aumento da ventilação colateral, da pressão de recolhimento elástico e do fluxo expiratório, com consequente aumento da interação gás-líquido.⁽¹⁴⁾ A redução da R_{va} e PFE após aspiração sugere que as secreções deslocadas para as vias aéreas mais centrais foram removidas pela aspiração.

Diversos autores têm utilizado a $C_{est, sr}$ como desfecho clínico para avaliar os efeitos terapêuticos da MHI ou com o ventilador mecânico.^(7,14-19) Berney e Denehy⁽⁷⁾ realizaram ensaio duplo-cruzado comparando as manobras MHI e HVM, sendo a HVM realizada no modo controlado a

volume, com fluxo constante de 20Lpm e pausa inspiratória de 2 segundos. O protocolo constou de seis séries de seis ciclos, totalizando 20 minutos, e o volume foi aumentado em 200mL, até que se atingisse a pressão máxima ($P_{m\acute{a}x}$) de 40cmH₂O. As autoras observaram que ambas foram igualmente eficazes no aumento da $C_{est,sr}$ e na produção de secreção, demonstrando aumento de 11,6% após 30 minutos de terapia, enquanto a MHI aumentou em 9,7%. No presente estudo, a $C_{est,sr}$ aumentou 14,8% após 10 minutos de HVM com otimização do tempo inspiratório. Em outro estudo comparando MHI e HVM, Dennis et al.⁽²⁰⁾ realizaram ensaio clínico com 46 pacientes com atelectasia ou consolidação ao raio X. A HVM foi realizada em ventilação mandatória intermitente sincronizada (SIMV) com as mandatórias no modo VCV, em quatro séries de oito ciclos. O volume era aumentado em passos de 150mL até que se alcançasse $P_{m\acute{a}x}$ de 40cmH₂O ou que fossem obtidos 250% do volume corrente (VC). No entanto, o volume obtido durante as manobras não foi divulgado. Os autores observaram que a HVM aumentou a $C_{din,sr}$ em 7,9%, porém sem diferenças entre as técnicas. No presente estudo, o volume inspirado obtido foi de 244,6 ± 65,6% do VC. Ahmed et al.⁽²¹⁾ compararam os efeitos da MHI com HVM em 30 pacientes no pós-operatório imediato de troca de válvula mitral. A HVM foi realizada no modo VCV com aumento do VC de 150%, frequência respiratória de 8irpm, com pressão limitada em 35mmHg (média obtida de 47,6cmH₂O). A $C_{din,sr}$ aumentou 6,6% após 1 minuto da HVM, porém a $C_{est,sr}$ permaneceu inalterada após 1 minuto (5,6%) ou após 20 minutos (4,8%). A MHI não modificou a $C_{est,sr}$ e nem a $C_{din,sr}$. Savian et al.⁽²²⁾ realizaram ensaio clínico cruzado randomizado com 14 pacientes em unidade de terapia intensiva (UTI) geral, comparando MHI e HVM associado a diferentes níveis de PEEP (5, 7,5 e 10cmH₂O). A HVM foi realizada no modo VCV por 3 minutos, com VC em 130%, com pressão limitada em 40cmH₂O, e frequência respiratória ajustada entre 7 e 8irpm, seguida de aspiração traqueal. Ambas as técnicas aumentaram igualmente a $C_{est,sr}$, porém só foi significativa 30 minutos após a HVM, com aumento de 12% (6,0mL/cmH₂O), sem diferenças entre os níveis de PEEP. No presente estudo, foi observado aumento de 6,0 ± 9,9mL/cmH₂O. Anderson et al.⁽¹⁰⁾ realizaram revisão sistemática comparando os efeitos da MHI e HVM em pacientes críticos. Foram selecionados apenas esses quatro ensaios clínicos supracitados na análise dos resultados. Assmann et al.⁽²³⁾ realizaram ensaio cruzado randomizado com 50 pacientes, que receberam aspiração isolada ou HVM, no modo VCV em 150% do volume corrente ideal ou no modo PCV com incrementos de 10cmH₂O,

sendo a pressão máxima limitada em 40cmH₂O. A HVM aumentou a complacência dinâmica e o volume corrente expirado, além de mobilizar maior volume de secreções.

Poucos estudos realizaram a HVM em modos controlados a pressão (PCV ou PSV). A maioria dos estudos clínicos realizou a HVM no modo ventilação controlada a volume, com aumentos progressivos do volume entre 150⁽²⁰⁾ e 200mL⁽¹⁵⁾ ou por meio de aumento proporcional fixo em 130%⁽²³⁾ ou 150%^(21,23) do VC. Lemes et al.⁽¹⁴⁾ realizaram a HVM no modo PSV, com aumento da pressão total até 40cmH₂O, mantendo-se a PEEP, associada ao posicionamento em decúbito lateral. Os autores observaram aumento de 13,8% na $C_{est,sr}$. Outro estudo associou a HVM com o acoplamento do Flutter[®] na válvula expiratória do ventilador mecânico em ensaio clínico cruzado randomizado. Os autores utilizaram o modo PCV, com ajuste da pressão inspiratória em 25cmH₂O associado a PEEP produzida pelo próprio Flutter[®], em torno de 14,7cmH₂O,⁽¹⁶⁾ totalizando pressão máxima de 40cmH₂O. Silva et al.⁽²⁴⁾ realizaram tosse manualmente assistida associada a ajuste da pressão inspiratória em 20cmH₂O acima da PEEP de 15cmH₂O, totalizando pressão total de 35cmH₂O.

Dennis et al.⁽²⁵⁾ analisaram o perfil de 64 unidades de terapia intensiva terciárias australianas e verificaram que 39% dos entrevistados utilizavam a HVM. A maioria dos respondentes limitavam a terapia pela pressão de pico, sendo a média alcançada de 37cmH₂O, variando de 25 a 40cmH₂O. Os fisioterapeutas que utilizavam o modo VCV, aumentavam o volume inspiratório entre 15 e 200%. Nas unidades de terapia intensiva que realizavam a HVM nos modos controlados a pressão, a pressão era aumentada em passos de 2 a 5cmH₂O. O tempo de aplicação variou entre 5 e 30 minutos. No presente estudo, foram realizados incrementos de 5cmH₂O, até atingir a pressão máxima de 35cmH₂O por 5 minutos.

A eficácia da higiene brônquica também está relacionada ao volume inspirado, à pressão de recolhimento elástico, ao padrão de distribuição das secreções e às elevadas constantes de tempo. O aumento do tempo inspiratório foi associado à HVM com o objetivo de aumentar o volume inspirado e a distribuição da ventilação nas unidades alveolares com elevadas constantes de tempo. Os pacientes com padrão obstrutivo parecem se beneficiar do acréscimo do tempo inspiratório, uma vez que apresentam padrão de fluxo desacelerado horizontal.⁽²⁶⁾ Além disso, valores de fluxo próximos ao final da inspiração estão associados às vias aéreas terminais ou periféricas.⁽²⁷⁾ Em alguns pacientes, o aumento do tempo inspiratório promoveu reflexo de tosse. Quando a pressão foi aumentada, o volume inspirado aumentou em 117,7 ± 32,9%, mas a adição do tempo

inspiratório elevou em $144,6 \pm 65,6\%$ o aumento do VC. Silva et al.,⁽²⁴⁾ ao realizarem a tosse manualmente assistida associada a HVM, aumentaram o tempo inspiratório para 2 segundos em todos os pacientes, independente da mecânica respiratória. Berney e Denehy⁽⁷⁾ utilizaram fluxo inspiratório lento (20Lpm) e incrementos de 200mL no VC até pressão máxima atingir $40\text{cmH}_2\text{O}$, com consequente aumento do tempo inspiratório. No presente estudo, o tempo inspiratório foi ajustado individualmente, de acordo com as curvas de fluxo inspiratório e expiratório, de modo que ambas atingissem a linha de base. Dessa forma, baixos valores de fluxo ocorrem ao final da inspiração.

Durante a ventilação mecânica, o modo ventilatório, os parâmetros utilizados e as propriedades mecânicas do sistema respiratório podem influenciar na mobilização das secreções, podendo resultar em acúmulo de secreções nas vias aéreas periféricas.⁽¹¹⁾ Para que a HVM ou MHI sejam capazes de mobilizar secreções, as taxas de fluxo inspiratório e/ou expiratório devem ser moduladas para favorecer o movimento das secreções para as vias aéreas proximais. Thomas⁽²⁸⁾ sugere três características do fluxo que podem contribuir para higiene brônquica: (1) pico de fluxo inspiratório (PFI) menor que 90% do PFE; (2) $\text{PFE} > 40\text{L}/\text{minuto}$; e (3) diferença entre PFE e PFI (*bias flow*) de pelo menos $17\text{L}/\text{minuto}$. O autor analisou o modo PCV por meio de diferentes combinações de ajustes da pressão inspiratória (20, 30, 35 e $40\text{cmH}_2\text{O}$), PEEP (0, 5, 10 e $15\text{cmH}_2\text{O}$) e tempo inspiratório (1, 2 e 3 segundos).

O aumento do tempo inspiratório foi a variável que promoveu o maior número de combinações ventilatórias que atendessem aos critérios 1 e 3.

Os estudos têm demonstrado que as manobras de MHI e HVM promovem melhora dos parâmetros ventilatórios e da mecânica respiratória, sem promover alterações hemodinâmicas. Medidas como pressão arterial média, frequência cardíaca e a saturação periférica de oxigênio (SpO_2), são utilizadas para mensurar o impacto hemodinâmico da fisioterapia respiratória na UTI.^(14,18) Durante as manobras realizadas no presente estudo, não foram observadas alterações significativas na pressão arterial, frequência cardíaca ou saturação periférica de oxigênio.

As principais limitações do presente estudo foram as ausências da análise do volume de secreção e do cegamento. Estudos adicionais são necessários para avaliar os efeitos da otimização da manobra por meio do aumento do tempo inspiratório, bem como em condições específicas de doenças. Além disso, a mensuração das variáveis apenas 10 minutos após a aspiração traqueal não permitiu determinar a duração das mudanças na mecânica do sistema respiratório.

CONCLUSÃO

A hiperinsuflação com o ventilador promoveu aumento da complacência associado a aumento transitório da resistência de vias aéreas e do pico de fluxo expiratório, com redução após aspiração.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effects of ventilator hyperinflation on respiratory mechanics.

Methods: A randomized crossover clinical trial was conducted with 38 mechanically ventilated patients with pulmonary infection. The order of the hyperinflation and control (without changes in the parameters) conditions was randomized. Hyperinflation was performed for 5 minutes in pressure-controlled ventilation mode, with progressive increases of $5\text{cmH}_2\text{O}$ until a maximum pressure of $35\text{cmH}_2\text{O}$ was reached, maintaining positive end expiratory pressure. After $35\text{cmH}_2\text{O}$ was reached, the inspiratory time and respiratory rate were adjusted so that the inspiratory and expiratory flows reached baseline levels. Measurements of static compliance, total resistance and airway resistance, and peak expiratory flow were evaluated before the technique, immediately after the technique and after aspiration. Two-way analysis of variance for repeated measures was used with Tukey's post hoc test, and $p < 0.05$ was considered significant.

Results: Ventilator hyperinflation increased static compliance, which remained at the same level after aspiration (46.2 ± 14.8 versus 52.0 ± 14.9 versus $52.3 \pm 16.0\text{mL}/\text{cmH}_2\text{O}$; $p < 0.001$). There was a transient increase in airway resistance (6.6 ± 3.6 versus 8.0 ± 5.5 versus $6.6 \pm 3.5\text{cmH}_2\text{O}/\text{L}\cdot\text{s}^{-1}$; $p < 0.001$) and a transient reduction in peak expiratory flow (32.0 ± 16.0 versus 29.8 ± 14.8 versus $32.1 \pm 15.3\text{Lpm}$; $p < 0.05$) immediately after the technique; these values returned to pretechnique levels after tracheal aspiration. There were no changes in the control condition, nor were hemodynamic alterations observed.

Conclusion: Ventilator hyperinflation promoted increased compliance associated with a transient increase in airway resistance and peak expiratory flow, with reduction after aspiration.

Keywords: Physical therapy modalities; Respiration, artificial; Respiratory therapy/methods; Respiratory care units; Respiratory mechanics; Positive-pressure respiration

REFERÊNCIAS

1. Konrad F, Brecht-Kraus D, Schreiber T, Georgieff M. Mucociliary transport in ICU patients. *Chest*. 1994;105(1):237-41.
2. Strickland SL, Rubin BK, Drescher GS, Haas CF, O'Malley CA, Volsko TA, Branson RD, Hess DR; American Association for Respiratory Care, Irving, Texas. AARC clinical practice guideline: effectiveness of nonpharmacologic airway clearance therapies in hospitalized patients. *Respir Care*. 2013;58(12):2187-93.
3. Andrews J, Sathe NA, Krishnaswami S, McPheeters ML. Nonpharmacologic airway clearance techniques in hospitalized patients: a systematic review. *Respir Care*. 2013;58(12):2160-86.
4. Macchione M, Guimarães ET, Saldiva PH, Lorenzi-Filho G. Methods for studying respiratory mucus and mucus clearance. *Braz J Med Biol Res*. 1995;28(11-12):1347-55.
5. Judson MA, Sahn SA. Mobilization of secretions in ICU patients. *Respir Care*. 1994;39:213-26.
6. Oh TE. Ventilation - Matching man, mode and machine. *Br J Hosp Med*. 1998;40(3):216-20.
7. Berney S, Denehy L. A comparison of the effects of manual and ventilator hyperinflation on static lung compliance and sputum production in intubated and ventilated intensive care patients. *Physiother Res Int*. 2002;7(2):100-8.
8. Gosselink R, Bott J, Johnson M, Dean E, Nava S, Norrenberg M, et al. Physiotherapy for adult patients with critical illness: recommendations of the European Respiratory Society and European Society of Intensive Care Medicine Task Force on Physiotherapy for Critically Ill Patients. *Intensive Care Med*. 2008;34(7):1188-99.
9. Paulus F, Binnekade JM, Vroom MB, Schultz MJ. Benefits and risks of manual hyperinflation in intubated and mechanically ventilated intensive care unit patients: a systematic review. *Crit Care* 2012;16(4):R145.
10. Anderson A, Alexanders J, Sinani C, Hayes S, Fogarty M. Effects of ventilator vs manual hyperinflation in adults receiving mechanical ventilation: a systematic review of randomised clinical trials. *Physiotherapy* 2015;101(2):103-10.
11. Volpe MS, Adams AB, Amato MB, Marini JJ. Ventilation patterns influence airway secretion movement. *Resp Care*. 2008;53(10):1287-94.
12. Ortiz TA, Forti G, Volpe MS, Carvalho CR, Amato MB, Tucci RM. Experimental study on the efficiency and safety of the manual hyperinflation maneuver as a secretion clearance technique. *J Bras Pneumol*. 2013;39(2):205-13.
13. American Association for Respiratory Care. AARC Clinical Practice Guidelines. Endotracheal suctioning of mechanically ventilated patients with artificial airways 2010. *Respir Care*. 2010;55(6):758-64.
14. Lemes DA, Zin WA, Guimarães FS. Hyperinflation using pressure support ventilation improves secretion clearance and respiratory mechanics in ventilated patients with pulmonary infection: a randomized crossover trial. *Aust J Physiother*. 2009;55(4):249-54.
15. Chicayban LM, Zin WA, Guimarães FS. Can the Flutter Valve improve respiratory mechanics and sputum production in mechanically ventilated patients? A randomized crossover trial. *Hear Lung*. 2011;40(6):545-53.
16. Hodgson C, Denehy L, Ntoumenopoulos G, Santamaria J, Carroll S. An investigation of the early effects of manual lung hyperinflation in critically ill patients. *Anaesth Intensive Care*. 2000;28(3):255-61.
17. Berney S, Denehy L, Pretto J. Head-down tilt and manual hyperinflation enhance sputum clearance in patients who are intubated and ventilated. *Aust J Physiother*. 2004;50(1):9-14.
18. Ntoumenopoulos G, Gild A, Cooper DJ. The effect of manual lung hyperinflation and postural drainage on pulmonary complications in mechanically ventilated trauma patients. *Anesth Intensive Care*. 1998;26(5):492-6.
19. Suh M, Heitkemper M, Smi CK. Chest physiotherapy on the respiratory mechanics and elimination of sputum in paralyzed and mechanically ventilated patients with acute lung injury: a pilot study. *Asian Nurs Res (Korean Soc Nurs Sci)*. 2011;5(1):60-9.
20. Dennis D, Jacob W, Budgeon C. Ventilator versus manual hyperinflation in clearing sputum in ventilated intensive care unit patients. *Anaesth Intensive Care*. 2012;40(1):142-9.
21. Ahmed F, Shafeek AM, Moiz JA, Geelani MA. Comparison of effects of manual versus ventilator hyperinflation on respiratory compliance and arterial blood gases in patients undergoing mitral valve replacement. *Hear Lung*. 2010;39(5):437-43.
22. Savian C, Paratz J, Davies A. Comparison of the effectiveness of manual and ventilator hyperinflation at different levels of positive end-expiratory pressure in artificially ventilated and intubated intensive care patients. *Hear Lung* 2006;35(5):334-41.
23. Assmann CB, Vieira PJ, Kutchak F, Rieder Mde M, Forgiarini SG, Forgiarini Junior LA. Lung hyperinflation by mechanical ventilation versus isolated tracheal aspiration in the bronchial hygiene of patients undergoing mechanical ventilation. *Rev Bras Ter Intensiva* 2016;28(1):27-32.
24. Silva AR, Fluhr AS, Bezerra Ade L, Correia Júnior MA, França EE, Andrade FM. Expiratory peak flow and respiratory system resistance in mechanically ventilated patients undergoing two different forms of manually assisted cough. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2012;24(1):58-63.
25. Dennis DM, Jacob WJ, Samuel FD. A survey of the use of ventilator hyperinflation in Australian tertiary intensive care units. *Crit Care Resusc*. 2010;12(4):262-8.
26. Lucangelo U, Bernabé F, Blanch L. Respiratory mechanics derived from signals in the ventilator circuit. *Respir Care*. 2005;50(1):55-65, discussion 65-7.
27. Ziegler B, Rovedder PM, Dalcin PT, Menna-Barreto SS. Padrões ventilatórios na espirometria em pacientes adolescentes e adultos com fibrose cística. *J Bras Pneumol*. 2009;35(9):854-9.
28. Thomas PJ. The effect of mechanical ventilator settings during ventilator hyperinflation techniques: a bench-top analysis. *Anaesth Intensive Care*. 2015;43(1):81-7.