



CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA – UNISUAM
PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

**ANÁLISE DOS MARCADORES DE EFICÁCIA E SEGURANÇA DURANTE A
TÉCNICA DE HIPERINSUFLAÇÃO COM VENTILADOR MECÂNICO:
ESTUDO CONTROLADO E RANDOMIZADO**

BEATRIZ DOS SANTOS RIBEIRO

Rio de Janeiro – RJ

2017



CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA – UNISUAM
PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO

**ANÁLISE DOS MARCADORES DE EFICÁCIA E SEGURANÇA DURANTE A
TÉCNICA DE HIPERINSUFLAÇÃO COM VENTILADOR MECÂNICO:
ESTUDO CONTROLADO E RANDOMIZADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto-Sensu* em Ciências da Reabilitação no Centro Universitário Augusto Motta como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, seguindo a linha de pesquisa: Abordagem Terapêutica em Reabilitação.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Silva Guimarães

Rio de Janeiro - RJ

2017

**ANÁLISE DOS MARCADORES DE EFICÁCIA E SEGURANÇA DURANTE A
TÉCNICA DE HIPERINSUFLAÇÃO COM VENTILADOR MECÂNICO:
ESTUDO CONTROLADO E RANDOMIZADO**

BEATRIZ DOS SANTOS RIBEIRO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto-Sensu* em Ciências da Reabilitação no Centro Universitário Augusto Motta como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre, seguindo a linha de pesquisa: Abordagem Terapêutica em Reabilitação.

Data da Defesa: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA:

Orientador: _____

Prof. Dr. FERNANDO SILVA GUIMARÃES
CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA

Membro: _____

Prof. Dr. AGNALDO JOSÉ LOPES
CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA

Membro: _____

Prof^ª. Dr^a. SARA SILVEIRA DE MENEZES
CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA

Membro: _____

Prof. Dr. SÉRGIO M. CHERMONT
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

AGRADECIMENTOS

Define-se agradecer como "expressar gratidão ou reconhecimento" (HOUAISS, 2009).

É fato que ninguém pode viver e conquistar objetivos sozinho. Portanto, quando realizamos alguma coisa realmente importante, é fundamental reconhecermos a participação de algumas pessoas essenciais para seguirmos no caminho até o grande dia. Sendo assim, preciso reconhecer e agradecer as minhas pessoas essenciais.

Então, pai, mãe, irmã e avós, obrigada pelo exemplo, o incentivo e o apoio de sempre. Vocês estão na linha de frente, inevitavelmente se preocupam e participam das adversidades, mas como recompensa, certamente são os que mais vibram com as alegrias e vitórias.

Fernando, obrigada por sempre me impulsionar a buscar soluções para resolver os meus problemas e por estar sempre disposto a me entender e apoiar. Você é meu melhor amigo e me ajudou nessa etapa muito mais do que pode imaginar, sobre tudo na reta final.

Luiza, não precisa ficar com ciúme, o Fernando é o melhor amigo, mas você é a melhor amiga, minha *best friend* e uma das primeiras pessoas com quem eu compartilhei a ideia de iniciar o mestrado, obrigada por sempre se importar e curtir as minhas conquistas.

Dra. Esther Martins Porto, obrigada pelo seu interesse, dedicação e conduta assertiva. Sem dúvida você está sendo imprescindível, ajudando a contornar alguns transtornos, o que me permite ficar bem e seguir adiante, profissionalmente e em todos os âmbitos.

Ercole Rubini, Indira Gusmão, Fernanda Baseggio e Dayse Brasileiro, é impossível seguir em frente sem olhar para trás e agradecer a vocês novamente. Obrigada pela amizade e por despertarem em mim a busca pela excelência e o amor a minha profissão. Muito mais do que professores, vocês são e sempre serão meus exemplos.

Todos os professores do programa de mestrado, obrigada por cada ensinamento, incentivo e contribuição nesses dois anos, em especial, meu orientador Fernando Guimarães, obrigada pela confiança, disponibilidade e apoio, principalmente nos momentos mais difíceis.

Todos os colegas da turma 2015.2, que junto comigo passaram por esse período nos momentos bons e nas preocupações, obrigada pela convivência, parceria, risadas e por equilibrarem as coisas, tornando tudo mais leve.

Por último e mais importante, obrigada Deus, por sua infinita demonstração de amor e perfeição, ao conduzir sempre de forma irretocável tudo àquilo que não está sob meu controle. Obrigada por permitir que até nas maiores dificuldades eu possa enxergar o lado bom, aprender e evoluir.

PREFÁCIO

"Se eu vi mais longe, foi por estar de pé sobre ombros de gigantes."

Isaac Newton.

RESUMO

Introdução: A Hiperinsuflação no Ventilador Mecânico (HVM) mostrou-se eficaz na melhoria da mecânica respiratória, remoção de secreção e otimização da troca gasosa em pacientes ventilados mecanicamente; No entanto, não há na literatura recomendações sobre as melhores configurações do ventilador para executar a técnica. Assim, o objetivo deste estudo foi comparar seis modos de HVM, referente a marcadores fisiológicos de eficácia e critérios de segurança da técnica, a fim de apoiar a adequada configuração da HVM ideal para pacientes em ventilação mecânica.

Métodos: Em um estudo cruzado, todos os pacientes em ventilação mecânica incluídos foram submetidos a seis modos de HVM em uma ordem aleatória: Ventilação Controlada a Volume (VCV) com fluxo inspiratório = 20Lpm (VCV20), VCV com fluxo inspiratório = 50Lpm (VCV50), Ventilação Controlada a Pressão (PCV) com tempo inspiratório = 1s. (PCV1), PCV com tempo inspiratório = 3s. (PCV3), Ventilação por Pressão de Suporte (PSV) com ciclagem = 10% do fluxo inspiratório máximo (PSV10) e PSV com ciclagem = 25% do fluxo inspiratório máximo (PSV25). A expansão máxima, os perfis de fluxo expiratório, a hiperdistensão, as dissincronias e as variáveis hemodinâmicas foram parâmetros avaliados durante as intervenções.

Resultados: A comparação entre os modos de HVM mostrou que o VCV20 foi o mais eficaz, seguido de PCV3 e PSV10. Houve redução da Pressão Arterial Média em VCV20 e VCV50 ($P < 0,05$), com um tamanho do efeito de 0,62 e 0,51, respectivamente. Os modos PCV3 e PSV10 mostraram os maiores valores de pressão alveolar, com ocorrência em 93% dos casos acima de 30 cmH₂O. Os modos com mais dissincronias foram VCV20 e PCV3, enquanto que nos modos PCV1 e PSV foram poucos casos.

Conclusão: Considerando os marcadores fisiológicos de eficácia, os modos de HVM VCV20, PCV3 e PSV10 são os mais eficazes. À medida que as técnicas de HVM são associadas à dissincronias paciente-ventilador, PSV10 é indicado para os pacientes em modo de ventilação mecânica assistida ou espontânea, enquanto que VCV20 e PCV3 são indicados para pacientes em modos controlados. Com o objetivo de reduzir a incidência de hiperdistensão alveolar e as repercussões hemodinâmicas, deve ser utilizado um limite de pressão de 35 cmH₂O ou menor, desde que o volume gerado seja no mínimo 50% acima do volume corrente ideal.

Palavras Chave: Terapia Ventilatória; Modos Ventilatórios; Ventilação Mecânica; Terapia Intensiva; Mecânica Ventilatória, Lesão Pulmonar Induzida pelo Ventilador.

ABSTRACT

Introduction: Ventilator hyperinflation (VHI) has been shown to be effective in improving respiratory mechanics, secretion removal, and gas exchange in mechanically ventilated patients; however, there are no recommendations on the best ventilator settings to perform the technique. Thus, the aim of this study was to compare six modes of VHI, concerning physiological markers of efficacy and safety criteria, in order to support the optimal VHI settings selection for mechanically ventilated patients.

Methods. In a crossover study, every included mechanically ventilated patient underwent six modes of VHI in a randomized order: Volume Control Continuous Mandatory Ventilation (VC-CMV) with inspiratory flow = 20Lpm (VC-CMV20), VC-CMV with inspiratory flow = 50Lpm (VC-CMV50), Pressure Control Continuous Mandatory Ventilation (PC-CMV) with inspiratory time = 1s. (PC-CMV1), PC-CMV with inspiratory time = 3s. (PC-CMV3), Pressure Support Ventilation (PSV) with cycling off = 10% of peak inspiratory flow (PSV10), and PSV with cycling off = 25% of peak inspiratory flow (PSV25). Maximum expansion, expiratory flow bias criteria, overdistension, asynchronies and hemodynamic variables were assessed during the interventions.

Results. The comparison between VHI modes showed that VC-CMV20 was the most effective, followed by PC-CMV3 and PSV10. Mean arterial pressure reduced in VC-CMV20 and VC-CMV50 ($P < 0.05$), with an effect size of 0.62 and 0.51, respectively. The modes PC-CMV3 and PSV10 showed the highest values of alveolar pressure, with 93% of the cases above 30cmH₂O. The modes with more asynchronies were VC-CMV20 and PC-CMV3, whilst in PC-CMV1 and PSV modes there were few cases.

Conclusion. Considering physiological markers of effectiveness, the VHI modes VC-CMV20, PC-CMV3 and PSV10 are the most effective. As VHI techniques are associated to patient-ventilator asynchronies, PSV10 is indicated for patients in assisted mechanical ventilation, whilst VC-CMV20 and PC-CMV3 are indicated for patients in controlled modes. Aiming at reducing the incidence of alveolar overdistension and hemodynamic repercussions, a pressure limit of 35cmH₂O or less should be used, as long as the volume delivered achieve at least 50% above the ideal tidal volume.

Keywords: Respiratory Therapy; Physical Therapy Modalities; Ventilators Mechanical; Critical Care; Respiratory mechanics; Ventilator-Induced Lung Injury.

SÚMARIO

PREFÁCIO

1 INFORMAÇÕES GERAIS	9
1.1 Local	9
1.2 Pesquisador (Mestranda)	9
1.3 Pesquisador (Orientador)	9
1.4 Título da Pesquisa	9
2 INTRODUÇÃO	10
2.1 Hiperinsuflação Terapêutica	11
2.1.1 Hiperinsuflação Manual (HM)	11
2.1.2 Hiperinsuflação com Ventilador Mecânico (HVM)	15
2.2 Mecanismos Fisiológicos da HVM	19
2.2.1 <i>Flow Bias</i> e Transporte de Muco	19
2.2.2 Reexpansão Pulmonar e Distribuição da Ventilação	23
2.2.3 Repercussões no Tecido Pulmonar	24
2.2.4 Repercussões Hemodinâmicas	25
2.2.5 Dissincronias	26
3 JUSTIFICATIVA	28
4 OBJETIVOS	29
4.1 Objetivo Geral	29
4.2 Objetivos Específicos	29
5 MATERIAIS E MÉTODOS	29
5.1 Local do Estudo	29
5.2 Desenho do Estudo	29
5.3 Caracterização da Amostra	30
5.3.1 Sujeitos	30
5.3.2 Critérios de Elegibilidade	30
5.4 Considerações Éticas	30
5.5 Análise dos Fatores de Risco	31
5.6 Instrumentos Utilizados na Coleta de Dados	31
5.7 Organização da Coleta de Dados	32

5.8 Protocolo de Pesquisa	33
5.8.1 Variáveis de Desfecho para <i>Flow Bias</i>	36
5.8.2 Variáveis de Desfecho para Volume	36
5.8.3 Variáveis de Desfecho para Distribuição da Ventilação	36
5.8.4 Variáveis de Desfecho para Pressão nas Vias Aéreas	36
5.8.5 Variáveis de Desfecho para alterações Hemodinâmicas	36
5.8.6 Variáveis de Desfecho para Dissincronias	37
5.9 Análise Estatística	37
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
MANUSCRITO	
CONSIDERAÇÕES FINAIS	
APÊNDICES	
ANEXOS	

1 INFORMAÇÕES GERAIS

1.1 Local

Centro Universitário Augusto Motta – UNISUAM

Programa de Pós-Graduação *Stricto-Sensu* em Ciências da Reabilitação.

Endereço: Praça das Nações, 34, Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ-CEP: 21041-010.

Fone: (21) 3882-9797 ramal: 2012

E-mail: secretariacr@unisuam.edu.br

1.2 Pesquisador (Mestranda)

Nome: Beatriz dos Santos Ribeiro

Área de atuação: Fisioterapia

Endereço: Rua Olímpia Esteves, 111, Bloco 01, 406 - RJ - CEP: 21775-002.

Fone: (21) 99793-1713

E-mail: bsr.macr@outlook.com

1.3 Pesquisador (Orientador)

Nome: Fernando Silva Guimarães

Área de atuação: Fisioterapia

Descrição da Linha de Pesquisa: Abordagem Terapêutica em Reabilitação

Instituição Afiliada: Centro Universitário Augusto Motta.

Endereço Postal: Praça das Nações, 34 - RJ - CEP: 21.041-010.

E-mail: fguimaraes_pg@yahoo.com.br

1.4 Título da Pesquisa

Análise dos marcadores de eficácia e segurança durante a técnica de Hiperinsuflação com Ventilador Mecânico: Estudo Controlado e Randomizado

2 INTRODUÇÃO

De acordo com o III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica (2007) a Fisioterapia está integrada a equipe multiprofissional que assiste os pacientes internados nas Unidades de Terapia Intensiva (UTI). Com ampla participação no atendimento ao paciente crítico, a conduta do fisioterapeuta aborda do baixo ao alto nível de complexidade. A atuação de baixa complexidade refere-se ao suporte ventilatório não invasivo, a recuperação pós-operatória e a reabilitação motora. Nos casos de alta complexidade o fisioterapeuta atua no suporte ventilatório invasivo, auxilia o momento da intubação, conduz os ajustes de parâmetros da ventilação mecânica (VM), evolui o desmame do suporte ventilatório e realiza a extubação do paciente. Todas as formas de assistência baseiam-se nas condutas definidas em equipe.

O suporte ventilatório invasivo se faz necessário quando o paciente perde a capacidade de ventilar os pulmões de forma autônoma e promover a troca gasosa adequada. Nesse momento é introduzida a ventilação mecânica invasiva, com objetivo de aliviar o trabalho dos músculos ventilatórios, garantir a troca gasosa e reduzir o consumo de oxigênio. O fisioterapeuta deve promover o conforto ventilatório e aplicar técnicas específicas para recuperação do paciente (GOSSELINK *et al.*, 2008).

Apesar de seus benefícios, a VM está fortemente associada à fatores de risco e efeitos deletérios para o paciente (ASSMANN *et al.*, 2016). Dentre outros problemas, o tubo orotraqueal (TOT) estimula a produção de muco e diminui a função mucociliar de limpeza das vias aéreas (AMATO *et al.*, 2007). Este efeito adverso causa o acúmulo da secreção e por isso é um fator de risco para a pneumonia associada à ventilação (PAV) e atelectasias por obstrução das vias aéreas (NTOUMENOPOULOS *et al.*, 2002).

A presença da via aérea artificial não é o único fator responsável pelo prejuízo na função mucociliar. O uso de sedação, a umidificação inadequada, o excesso de oxigênio e as lesões na mucosa das vias aéreas superiores devido aspiração a vácuo, são os outros fatores que associados à excessiva produção de secreção contribuem para o desenvolvimento de infecção pulmonar e atelectasia por obstrução (LEMES; GUIMARÃES, 2007).

Visando compensar tal prejuízo e evitar complicações, a Fisioterapia Respiratória dispõe de técnicas para remoção de secreção. Diversos recursos são utilizados com o objetivo de mobilizar secreções, favorecer a oxigenação e promover a reexpansão pulmonar: drenagem postural, vibração e percussão torácica, tosse assistida, aspiração traqueal e hiperinsuflação pulmonar terapêutica manual ou no ventilador mecânico (LEMES; ZIN; GUIMARÃES, 2009).

2.1 Hiperinsuflação Terapêutica

A hiperinsuflação terapêutica é uma técnica de remoção de secreção e reexpansão pulmonar utilizada por fisioterapeutas na tentativa de reverter, minimizar ou evitar os prejuízos induzidos pelo uso de via aérea artificial e VM nos pacientes internados na UTI, podendo ser realizada por meio do ressuscitador manual ou do ventilador mecânico. Os mecanismos de ação da técnica são baseados no aumento da pressão transpulmonar, na interação gás-líquido e na interdependência alveolar, que consiste na chegada de fluxo aéreo em áreas colapsadas e/ou hipoexpandidas através dos canais colaterais (LEMES; GUIMARÃES, 2007).

Com a chegada do fluxo aéreo, a secreção estagnada que obstrui as vias aéreas e causa atelectasia é mobilizada para as vias aéreas centrais, facilitando a remoção pela tosse ou aspiração. A remoção de secreção e a pressão transpulmonar elevada promovem a reexpansão pulmonar, o que pode reverter a atelectasia, resultando no aumento das complacências estática e dinâmica, além de melhorar a oxigenação arterial (MAA *et al.*, 2005).

Para obter sucesso, a técnica deve ser aplicada de maneira correta, sendo administrada com fluxo inspiratório lento e profundo, para gerar um volume de gás maior do que o volume corrente do paciente. Ao final da inspiração a hiperinsuflação gera o aumento da pressão de recolhimento elástico dos pulmões, o que permite uma expiração com fluxo acelerado, semelhante ao mecanismo da tosse. Devido à interação gás-líquido a secreção é trazida da periferia para as vias aéreas centrais, facilitando a sua remoção (NUNES; BOTELHO; SCHIVINSKI, 2013).

2.1.1 Hiperinsuflação Manual

A hiperinsuflação manual foi descrita por Clemen & Hübsh em 1969 como um recurso para mobilizar a secreção, favorecer a oxigenação no momento da aspiração traqueal e reexpandir as áreas atelectasiadas nos pulmões. Esta forma de realizar a hiperinsuflação também é conhecida como *bagging* ou *bag squeezing*. Para sua execução o terapeuta deve impor uma compressão lenta e profunda do ressuscitador manual, seguida de pausa inspiratória. Após a compressão deve ser rapidamente liberada para favorecer o aumento do fluxo expiratório (CLEMENT; HÜBSCH, 1968).

Apesar dos benefícios comprovados (PAULUS *et al.*, 2012), a técnica de HM está associada a efeitos adversos, como o risco de instabilidade hemodinâmica, barotrauma e

volutrauma, principalmente em pacientes com pulmões mais comprometidos (NTOUMENOPOULOS; DAWSON, 2000). Outro importante predisponente para efeitos deletérios é a desconexão do ventilador mecânico para acoplar o circuito do ressuscitador manual, levando a perda de controle e monitorização dos parâmetros ventilatórios, e a retirada da pressão positiva expiratória final (*positive end-expiratory pressure* - PEEP). Esta perda da PEEP pode levar à abertura e fechamento cíclico das unidades alveolares, o que pode causar lesão por cisalhamento (TURKI *et al.*, 2005).

No Brasil, a HM é eleita como uma manobra eficaz para remover secreções retidas. Apesar de ser amplamente aceita, faltam evidências científicas capazes de atestar que os benefícios da técnica têm influência sobre desfechos clinicamente relevantes, como incidência de pneumonia associada à ventilação mecânica, mortalidade, tempo de ventilação mecânica, condução do desmame e outros (ORTIZ *et al.*, 2013).

Diversos estudos demonstraram benefícios de curto prazo na remoção de secreção, mecânica respiratória e trocas gasosas. Hodgson *et al.* (2000) em um estudo prospectivo e cruzado com 18 pacientes em VM, avaliaram a segurança e os benefícios da HM no curto prazo. Os pacientes foram colocados com o pulmão comprometido na posição não dependente e com *washout* todos receberam aspiração isolada ou associada a HM. Na comparação a hiperinsuflação teve diferença significativa na melhora da complacência estática (Cst) do sistema respiratório, porém não houve diferença na troca gasosa e nas variáveis hemodinâmicas. No mesmo ano Patman, Jenkins e Stiller (2000) buscaram conhecer os benefícios da HM de forma isolada, ou seja, sem a interferência de condutas complementares. Baseados na avaliação da Cst e da oxigenação dividiram 100 pacientes no pós-operatório imediato de revascularização, em grupo controle e intervenção apenas com HM. Neste estudo a melhora das variáveis foi significativa e mantida por até 60 minutos após a intervenção com HM.

Jones (2002) em uma análise de bancada investigou a direção e a distância percorrida por secreções de três viscosidades, sob a influência da VM convencional *versus* um protocolo de HM. Observou que durante a hiperinsuflação, ao gerar picos de fluxo expiratório maiores, o deslocamento do muco foi significativamente maior do que aquele observado na VM convencional. Além disto, quanto menor a viscosidade da secreção, maior foi sua mobilidade na via aérea simulada.

Para comparar a variação de protocolos Maxwell e Ellis (2002) testaram em um modelo pulmonar, os efeitos da técnica realizada por um mesmo fisioterapeuta experiente, porém com três padrões diferentes de PEEP e tempo inspiratório, avaliados em pares. Para isso, uma

válvula expiratória foi acoplada ao circuito do ressuscitador manual. As variáveis de desfecho (pressão de pico, volume corrente, pico de fluxo inspiratório e expiratório) foram significativamente desiguais entre todas as combinações dos três protocolos. Então, os autores sugeriram a necessidade de alinhar o propósito terapêutico com o padrão de aplicação da HM.

Com objetivo semelhante, porém voltado para um grupo específico Barker e Adams (2002) compararam três formas de tratamento para pacientes com lesão pulmonar aguda (LPA). O primeiro apenas aspiração, o segundo acrescido de posicionamento não dependente do pulmão comprometido e o terceiro a junção dos anteriores com a HM. Em seus resultados, apesar de melhora significativa nos três grupos, não conseguiram estabelecer a superioridade de um dos tratamentos. Como justificativa, os autores sugeriram que a HM não se destacou porque o colapso pulmonar, resultado da desconexão do ventilador e perda da PEEP, tem prejuízo acentuado para o perfil de pacientes do estudo.

Outros dois estudos foram seletivos quanto ao grupo de interesse, e avaliaram pacientes no pós-operatório imediato da cirurgia de revascularização do miocárdio. Blattner, Guaragna e Saadi (2008) dividiram 55 pacientes em dois grupos. O grupo controle recebeu os cuidados básicos, e 1 hora após admissão na UTI foi realizada apenas aspiração. No grupo intervenção a diferença foi a inclusão da HM. Os autores relataram melhora significativa na oxigenação arterial e na Cst, além da redução do tempo em VM. Posteriormente, Santos et al. (2010) associaram o uso da válvula *spring loaded*, para manutenção da PEEP de 10 cmH₂O durante 20 min. de HM. Foram 18 pacientes divididos em dois grupos, sendo o controle mais uma vez com cuidados básicos e aspiração. Neste, os resultados apontaram melhora significativa da Cst e do volume pulmonar após a intervenção.

Em investigações acerca dos benefícios e as características ideais para aplicarem a técnica de HM, Maxwell e Ellis (2003) analisaram o manejo do ressuscitador manual quanto ao tipo de circuito e o desempenho do fisioterapeuta. Para isso foram usados três tipos de circuito e controle alternado entre a liberação rápida ou lenta da compressão. Seus resultados evidenciaram que desfechos importantes como a diferença entre os picos de fluxo inspiratório e expiratório sofreram alterações dependentes do material e do método utilizado.

Demais pesquisadores destacaram achados semelhantes ao anterior. Hodgson *et al.* (2007), fizeram um estudo randomizado e cruzado com 20 pacientes em VM. Os autores observaram uma diferença significativa na quantidade de secreção removida após a HM com o circuito Mapleson C, em comparação ao circuito Laerdal, sem superioridade para oxigenação ou Cst. Depois, Jones, Thomas e Paratz (2009) compararam o circuito Mapleson C com o Magill acoplados a um pulmão de teste. Doze fisioterapeutas foram recrutados para

realizar a HM em modelos de pulmão com três valores diferentes de complacência. Os autores concluíram que o Mapleson C é o mais eficaz para realizar a técnica de HM, por ter gerado picos de fluxo expiratório maiores, sendo assim mais favorável à remoção de secreção.

Outra questão de interesse foi o posicionamento, Berney, Denehy e Pretto (2004) realizaram um estudo randomizado e cruzado com vinte pacientes intubados e ventilados mecanicamente. Neste estudo foi avaliado se a posição de *trendelenburg* teria influência sobre os benefícios da HM em comparação ao decúbito lateral com o pulmão comprometido na posição não dependente. As variáveis de desfecho foram a Cst, o pico de fluxo expiratório e a quantidade de secreção removida na aspiração. A Cst foi significativamente maior após a manobra de HM realizada em ambas as posições. Entretanto, na posição em *trendelenburg* foram observados aumentos mais significativos no pico de fluxo expiratório e na quantidade de secreção removida.

Com ênfase nos diferentes critérios para HM, Maa *et al.* (2005) buscaram diminuir a barreira que dificulta a interpretação e o entendimento dos achados sobre a técnica. Vinte e três pacientes cursando com desmame difícil da VM devido à atelectasia, foram divididos em grupo controle ou intervenção. Para direcionar a hiperinsuflação os autores consideraram as recomendações da literatura sobre os diferentes tipos de ressuscitador manual, uso da pausa inspiratória ou a imediata decompressão, o período de duração da técnica, a variação do volume e o controle da Ppico. Em resumo, utilizaram o acréscimo de um volume 50% maior do que o corrente, Ppico de 40 cmH₂O controlada com manômetro, cerca de 8 a 13 ciclos ventilatórios com fluxo inspiratório lento e profundo, pausa inspiratória de 3 a 5 segundos, expiração passiva e duração de 20 minutos. Assim, puderam reafirmar a melhora significativa do volume corrente, da oxigenação e da radiografia de tórax no grupo que recebeu HM seguindo o protocolo baseado nas evidências científicas.

A remoção de secreção e a melhora da Cst foram benefícios da HM citados em diversos estudos, no entanto, os efeitos da manobra sobre a resistência das vias aéreas (Rva) foi avaliado pela primeira vez por Choi e Jones (2005), que compararam duas abordagens no tratamento da pneumonia associada à ventilação (PAV). Quinze pacientes em VM receberam aspiração isolada ou associada a HM, com *washout* de 4 horas e ordem randomizada. Neste estudo foi observado o aumento da Cst e a redução da Rva até 30 minutos após a hiperinsuflação, o que não ocorreu no protocolo com aspiração isolada.

Em outro estudo com ênfase na mecânica ventilatória, Turki *et al.* (2005) analisaram o estresse mecânico associado à pressão imposta pelo operador ao comprimir o ressuscitador manual. Para isso, simularam em um pulmão de teste quatro perfis de pacientes ao combinar

variações de Cst e Rva. Foram recrutados nove terapeutas experientes, que realizaram a HM para um paciente de 70 kg. Posteriormente, elaboraram três cenários clínicos e a HM foi baseada nas informações de cada situação. Sendo assim, os autores identificaram que a pressão de pico foi a variável de maior flutuação, entre as quatro características de mecânica e os três cenários clínicos simulados, podendo atingir até 100 cmH₂O. Sugeriram ainda que a força física pode ter influenciado estes achados, com terapeutas do gênero masculino responsáveis pela produção das maiores pressões de pico.

De forma similar, Ortiz *et al.* (2013) simularam com pulmão de teste três características comuns: função pulmonar normal, doença obstrutiva e doença restritiva. Oito fisioterapeutas realizaram a HM para mobilizar secreção, conforme a prática clínica. Em seguida, receberam uma instrução simples de um especialista, sobre a aplicação da técnica e repetiram a manobra. Os autores observaram que a HM foi realizada com pequenos volumes e insuflações rápidas. Portanto, as manobras não atingiram a devida condição de superioridade do pico de fluxo expiratório (PFE) sobre o pico de fluxo inspiratório (PFI). Desta forma, sem a adequada interação gás-líquido, não favoreceram a desobstrução brônquica, inclusive após a instrução.

2.1.2 Hiperinsuflação com Ventilador Mecânico (HVM)

Embora com benefícios amplamente aceitos e vasto respaldo científico, a manobra de hiperinsuflação realizada de forma manual possui limitações. Uma alternativa para aplicação da técnica consiste em manter o paciente acoplado ao ventilador e ajustar os parâmetros ventilatórios para níveis que reproduzam a HM. Desse modo, realizar a hiperinsuflação com ventilador mecânico (HVM) oferece maior conforto e proteção ao paciente, visto que evita a desconexão do circuito (LEMES; GUIMARÃES, 2007).

Permanecer com o circuito conectado permite manter a PEEP e sustentar os alvéolos continuamente abertos. Assim a HVM é capaz de evitar o colapso das unidades pulmonares e o estresse por cisalhamento. Além de ser uma técnica mais prática e fácil, permite o controle de todos os parâmetros ventilatórios, e, sobretudo garante um limite seguro para a Ppico. Ademais, a HVM reduz a incidência de infecção pulmonar e demanda apenas um profissional, o que reduz os custos da unidade hospitalar (ANDERSON *et al.*, 2014).

Alguns autores preconizam que para reproduzir a HM deve-se ajustar os parâmetros do ventilador mecânico com níveis capazes de gerar um PFE superior ao PFI (LEMES; ZIN; GUIMARÃES, 2009). A prática da HVM é baseada no aumento progressivo do volume corrente até atingir a Ppico de 40 cmH₂O, para expandir os pulmões, aumentar o recuo

elástico do tecido e favorecer o aumento do PFE, que será responsável por mobilizar a secreção (ASSMANN *et al.*, 2016).

Os objetivos da HVM são equivalentes aos descritos previamente na literatura científica sobre a HM, ou seja, mobilização e remoção de secreções acumuladas, melhora da Cst, reexpansão pulmonar para reverter atelectasias e o incremento da oxigenação arterial. Os estudos comparando HVM vs. HM demonstraram que não há diferença significativa entre os benefícios das duas formas de aplicação da técnica (BERNEY; DENEHY, 2002; SAVIAN; PARATZ; DAVIES, 2006; AHMED *et al.*, 2010; DENNIS; JACOB; BUDGEON, 2012).

Considerando que os benefícios são semelhantes, na aplicação clínica o ideal é avaliar o risco-benéfico para eleger a forma de hiperinsuflar o paciente (HAYES *et al.*, 2011). A HVM demonstrou ser tão segura quanto a HM se for respeitado o limite de Ppico até 40 cmH₂O. Nesse sentido, a HVM se torna superior ao permitir a adequada monitorização das variáveis ventilatórias e evitar os efeitos deletérios da desconexão do circuito (DENNIS; JACOB; BUDGEON, 2012).

Essa vantagem da HVM permite contemplar o paciente com quadro clínico grave, que não tolera ou não pode ser desconectado do ventilador. Assim a técnica se torna viável para pacientes com PEEP > 10 cmH₂O, em uso de óxido nítrico, com instabilidade cardiovascular, com intolerância ou agitação as manipulações na via aérea, com acentuada dessaturação de oxigênio ou qualquer condição clínica em que a monitorização das variáveis ventilatórias seja imprescindível (HAYES *et al.*, 2011).

O uso do ventilador mecânico se apresenta como uma alternativa para facilitar a definição e a reprodução da hiperinsuflação terapêutica. O uso do ventilador mecânico facilita a padronização de aplicação da hiperinsuflação, reduzindo as variações que incidem nas pesquisas e na prática clínica (BERNEY; DENEHY, 2002). Contudo, os estudos sobre esta técnica utilizaram métodos diferentes entre si. Da mesma forma, não há um padrão para aplicação clínica da HVM e os protocolos são conduzidos de maneira diferente entre as equipes das Unidades de Terapia Intensiva (THOMAS, 2015).

Berney e Denehy (2002) foram as primeiras pesquisadoras a investigar a diferença entre os efeitos da HVM comparada com a HM. Estas autoras fizeram um estudo randomizado, controlado e cruzado em que 20 pacientes foram divididos em dois grupos. No primeiro dia o grupo 1 recebeu HM e o 2 HVM, após *washout* de 2 horas o grupo 1 recebeu HVM e o 2 HM. No dia seguinte os grupos foram mantidos, porém a disposição da técnica teve a sequência invertida. Foi utilizado um protocolo de HVM com PFI de 20 l/min., incrementos de 200 ml sobre o volume corrente até Ppico de 40 cmH₂O e pausa inspiratória de 2 segundos. Em seus

resultados, demonstraram que ambas proporcionaram melhora da Cst, sem diferença significativa na quantidade de secreção removida.

Savian *et al.* (2006) avaliaram se diferentes níveis de PEEP tiveram influência sobre os efeitos da HM e HVM. Em um estudo cego, randomizado e cruzado, 14 pacientes em VM foram submetidos às manobras com *washout* de 3 horas e manejo do mesmo fisioterapeuta. Foi utilizado volume 30% acima do corrente para a HVM, Ppico até 40 cmH₂O e três níveis de PEEP (5, 7,5 e 10 cmH₂O). Para HM, foi acoplada uma válvula expiratória *threshold* ao ressuscitador manual, para manter a PEEP desejada. Os autores relataram semelhante potencial para remoção de secreção. Sem diferença no aumento da Cst, na melhora da oxigenação e na estabilidade hemodinâmica entre as duas técnicas e os níveis de PEEP. Entretanto, constataram que a HVM causou menor estresse metabólico e maior duração do incremento na Cst, que permaneceu até 30 minutos após a intervenção.

Outra comparação foi a de Ahmed *et al.* (2010), que além da Cst, estudaram os efeitos da hiperinsuflação sobre a gasometria arterial. Foram 30 pacientes sedados no pós-operatório imediato de troca valvar mitral, randomizados em grupo HM e grupo HVM. Na intervenção manual foi utilizado fluxo de 15 l/min., insuflações lentas, pausa inspiratória de 2 segundos e válvula de PEEP. No ventilador, o volume foi 50% maior que o basal e Ppico até 35 cmH₂O. Neste estudo os autores realizaram três avaliações, sendo em baseline, no 1º e no 20º minuto após a intervenção. Ambas as técnicas melhoraram a oxigenação, a complacência estática e a dinâmica, sem diferença significativa entre elas.

Com destaque para a principal finalidade da hiperinsuflação terapêutica, Dennis, Jacob e Budgeon (2012) selecionaram 46 pacientes e investigaram se a HVM teria capacidade equivalente a HM para mobilizar secreções e promover a remoção de secreção nos pacientes ventilados mecanicamente. As duas intervenções ocorreram no mesmo dia, em ordem randomizada e com *washout* de 3 horas. Durante 20 minutos os pacientes ficaram em decúbito dorsal ou lateral, com o pulmão comprometido na posição não dependente. Foram coletas as variáveis, em seguida administraram a HM ou HVM e aspiração traqueal. No ventilador, utilizaram alíquotas de 150 ml sobre o volume inicial, até atingir a Ppico de 40 cmH₂O. Realizaram nova coleta imediatamente e após 30 minutos da intervenção. Ao final, indicaram que não houve diferença estatística na quantidade de secreção removida pelas duas formas de hiperinsuflar.

Ratificando os quatro estudos anteriores, Anderson *et al.* (2014) realizaram uma revisão sistemática sobre a comparação dos efeitos entre HVM e HM. Apesar de reafirmarem que as duas formas alcançaram resultados equivalentes para remoção de secreção, reexpansão

pulmonar e oxigenação, os autores apontaram fragilidades e limitações consideráveis quanto aos protocolos, equipamentos e participantes nas pesquisas realizadas. Portanto ressaltaram a necessidade de novos estudos para orientar a prática clínica.

Em uma análise recente, Sikka e Radhakrishnan (2016) compararam os protocolos de HM e HVM em 54 pacientes com síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA). Foi um estudo randomizado e cruzado, com uma intervenção pela manhã e outra à tarde. No protocolo de HVM aumentaram progressivamente o volume corrente em 200 ml até a Ppico de 40 cmH₂O. Os benefícios da técnica foram estatisticamente iguais, na aplicação manual e mecânica. Ainda acrescentaram que a HVM pareceu prolongar o recrutamento alveolar, com melhor Cst por até 30 minutos.

Demais pesquisas contemplaram apenas a intervenção por meio do ventilador mecânico. Berney e Denehy (2003) investigaram as alterações metabólicas e hemodinâmicas do tratamento com a HVM em pacientes críticos. Neste estudo, as autoras compararam o posicionamento favorável à expansão pulmonar (posição não-dependente), de forma isolada e associado à hiperinsuflação. Foram realizadas duas abordagens com 10 pacientes em VM, randomizados entre os grupos A e B. A HVM foi implementada com PFI de 20 l/min., progressão do volume com 100 ml até a Ppico de 40 cmH₂O, com duração de 20 minutos. As variáveis de desfecho foram pressão arterial média, consumo de oxigênio e índice cardíaco. As autoras não identificaram diferença significativa no consumo de oxigênio ou alterações hemodinâmicas durante a HVM.

Lemes, Zin e Guimarães (2009) avaliaram os efeitos da HVM realizada com pressão de suporte em 30 pacientes com pneumonia. Os pacientes foram posicionados com o pulmão mais comprometido na posição não-dependente. Durante a HVM a pressão de suporte foi aumentada até que a pressão de pico atingisse 40 cmH₂O. No controle os pacientes permanecerem em decúbito lateral sem modificação dos parâmetros ventilatórios. O estudo foi cruzado e randomizado, com um washout de 4 horas entre as intervenções. Os autores concluíram que HVM com pressão de suporte foi capaz de mobilizar secreção e melhorar a mecânica ventilatória dos pacientes. Além disso, foi demonstrado que o modo de ventilação espontânea é uma opção viável para realizar a HVM.

Assmann *et al.* (2016) compararam a capacidade da HVM e da aspiração traqueal isolada em promover a remoção de secreção e melhorar a mecânica ventilatória. Os autores randomizaram 50 pacientes em um estudo cruzado com *washout* de 24 horas. Para caracterizar o grupo controle foi realizada uma única aspiração por 15 segundos com fração inspirada de oxigênio (FiO₂) de 100%. O grupo intervenção recebeu a HVM com incremento

de 50% do volume corrente ideal durante 10 minutos. Os autores verificaram que a hiperinsuflação foi superior, visto que manteve menores pressões de pico nas vias aéreas e gerou melhora significativa na complacência dinâmica, no volume expiratório e na quantidade de secreção depurada.

Thomas (2015) realizou um estudo de bancada e comparou pela primeira vez a eficácia de três modos ventilatórios para HVM. Sua avaliação foi baseada na capacidade dos perfis de fluxo em cumprir critérios preestabelecidos, que correspondem com a mobilização de secreções. Os modos convencionais foram administrados em um modelo pulmonar com sensores de fluxo acoplados ao circuito. Foram testadas diversas configurações de parâmetros e simuladas duas características de complacência pulmonar. No total foram realizados 232 ensaios, discriminados como sucesso ou falha de acordo com o cumprimento dos critérios de padrões de fluxo inspiratório e expiratório determinados (*Flow Bias*). Conforme evidências prévias sobre a influência dos padrões de fluxo na remoção de secreção (*Flow bias*), foram estabelecidos os pontos de corte: $PIF/PEF \leq 0,9$; $PEF-PIF \geq 17$ l/min. e $PEF \geq 40$ l/min. De acordo com os resultados deste estudo, o modo volume controlado (VC) foi o melhor em coincidir o alcance dos três critérios, em contrapartida foi o modo que mais vezes excedeu a P_{pico} de 40 cmH₂O. O autor indicou que o VC com volume de insuflação em cerca de 1 litro tem maior probabilidade de sucesso para hiperinsuflar um pulmão pouco complacente. O modo pressão controlada (PC) foi bem sucedido no critério $PFE \geq 40$ l/min., porém apenas 8% dos ensaios atenderam aos critérios simultaneamente. O tempo inspiratório de 3 segundos pareceu ter forte relação com o êxito da HVM em PC. O modo pressão de suporte (PS) atingiu $PFE \geq 40$ l/min. em 95% dos ensaios, mas foi ineficaz nos marcadores $PIF/PEF \leq 0,9$; $PEF-PIF \geq 17$ l/min. Ficou evidente a necessidade de pesquisas futuras para confirmar estes achados *in vitro* e guiar a prática clínica dos fisioterapeutas.

2.2 Mecanismos Fisiológicos da HVM

2.2.1 *Flow Bias* e Transporte de Muco

O prejuízo da função mucociliar e o aumento na produção de secreção estão entre os efeitos adversos da ventilação mecânica. O acúmulo da secreção produzida fica retido nas vias aéreas e se torna precursor de outros problemas. A obstrução das vias aéreas é responsável por áreas de atelectasia que vão trazer desconforto e comprometer a troca gasosa do paciente. Outro fato importante é que as colônias de bactéria da secreção aumentam o risco

do desenvolvimento de pneumonia, o que inevitavelmente está associado a maior mortalidade. Em vista disto, são necessários meios para acessar e retirar essa secreção (VOLPE *et al.*, 2008).

Entre as técnicas para remover secreções, a eficácia da hiperinsuflação terapêutica tem o respaldo científico de várias publicações, inclusive com benefícios sobre a mecânica ventilatória. A manobra com o ventilador mecânico parece ser a forma mais segura e confortável para o paciente, capaz de garantir a manutenção da PEEP, controlar as variáveis ventilatórias e limitar o pico de pressão nas vias aéreas (LEMES; GUIMARÃES, 2007).

Para atingir os objetivos da técnica é necessário considerar que o ajuste de parâmetros do ventilador mecânico tem potencial para determinar o sucesso da HVM. Essa questão é alvo de diversos estudos na busca pelos parâmetros ideais para facilitar o transporte da secreção (NTOUMENOPOULOS; SHANNON; MAIN, 2011). Sendo assim, é fundamental considerar a interação gás-líquido que ocorre nas vias aéreas. Em outras palavras, significa dizer que fluxos simultâneos de gás e líquido ou ar e muco se movimentam nas vias aéreas durante as fases inspiratória e expiratória. Esse movimento pode ser em direção as vias periféricas ou em direção as vias centrais (KIM, 1985). Para o deslocamento das secreções é necessário que a velocidade do fluxo exerça uma força de cisalhamento suficiente para vencer a resistência gravitacional e a viscosidade do muco (KIM, 1986).

Portanto a remoção de secreção vai depender da relação entre o movimento do ar e as propriedades reológicas do muco. Desta forma, o fluxo de ar é capaz de tendenciar o movimento da secreção, desde que esta tenha o aspecto fluido. O sentido do movimento vai depender da diferença entre os picos de fluxo inspiratório e expiratório, esta diferença é o que define o conceito de *Flow Bias* (VOLPE *et al.*, 2008).

Para que a hiperinsuflação terapêutica seja eficaz no propósito de remover a secreção, o pico de fluxo expiratório deve exceder o pico de fluxo inspiratório. Desta forma é gerado um *Flow Bias* expiratório, ou seja, o fluxo de ar expirado traz a secreção em direção às vias aéreas centrais, para ser removida. Caso contrário, se o *Flow Bias* for inspiratório, o fluxo de ar inspirado conduz a secreção para as vias aéreas distais (BENNETT; THOMAS; NTOUMENOPOULOS, 2015).

As pesquisas têm em comum a meta de conhecer os critérios essenciais para que a ventilação favoreça o deslocamento do muco e os danos da retenção possam ser evitados. Assim será possível orientar a prática clínica para uma assistência eficaz (THOMAS, 2015).

O interesse pelo tema é de longa data, Kim *et al.* (1985) realizaram um estudo *in vitro* com dois modelos de tubos verticais e quatro fluidos de diferentes viscosidades. Em dois

experimentos determinaram a taxa mínima de fluxo constante e a espessura mínima da camada de muco necessária para haver o transporte ascendente do fluido continuamente fornecido. Os autores observaram que as condições para o transporte de secreção pelo mecanismo gás-líquido pareceram reproduzíveis em paciente hipersecretivos.

Em outra publicação, Kim *et al.* (1986) mantiveram um desenho semelhante ao anterior, porém com um tubo vertical e outro horizontal. Neste experimento foi demonstrado que a velocidade de deslocamento do muco foi proporcional à velocidade do fluxo. E que é possível atingir os critérios para o mecanismo de interação gás-líquido nas vias aéreas de pequeno calibre.

No ano seguinte, Kim, Iglesias e Sackner (1987) utilizaram modelos de tubo e fluidos de diferentes viscosidades para avaliar a mobilização do muco mediante variações nos padrões de fluxo inspiratório e expiratório. Foi observado que uma diferença de PFE apenas 10% maior que o PFI, ou seja, $PFI/PFE \leq 0,9$ favorece o deslocamento do muco.

Benjamin *et al.* (1989) investigaram se os ajustes sugeridos por estudos *in vitro* para haver um flow bias expiratório são compatíveis se avaliados *in vivo*, sob ventilação com volume controlado. O muco simulado foi introduzido nos pulmões de ovelhas em dois dias consecutivos, utilizando-se diferentes padrões de fluxo no ventilador mecânico. O valor de fluxo foi modificado para interferir no tempo inspiratório, fazendo com que o PFI diminuísse quando a relação entre tempos inspiratório e expiratório (I:E) aumentou. Portanto, os autores ressaltaram que apesar da ventilação com relação invertida beneficiar a interação gás-líquido, é preciso cuidado com os efeitos adversos da auto-PEEP, quanto às alterações hemodinâmicas e o risco de barotrauma.

Freitag *et al.* (1989) em outro estudo com ovelhas ventiladas mecanicamente e infusão do muco simulado, conseguiram avaliar as características da traqueia *in vivo* e identificaram que cerca de 30 ml de fluido foram necessários para revestir a superfície da traqueia e formar uma camada de espessura suficiente para remoção. Estes achados corroboraram com a premissa da necessidade do *Flow Bias* expiratório para haver remoção de secreção.

Volpe *et al.* (2008) investigaram a influência do ajuste de parâmetros do ventilador sobre o perfil de fluxo gerado e o movimento da secreção. Neste estudo, os autores simularam duas características de muco (viscoso ou fluido) colocado em um tubo transparente para fotodensitometria. Na primeira etapa foi avaliada a relação entre o fluxo e o movimento da secreção. Na segunda, avaliaram a função de diferentes parâmetros ventilatórios sobre o fluxo e o deslocamento do muco em quatro perfis de complacência. Entre os principais achados, indicaram que um PFE a partir de 40 l/min. e uma diferença entre PFE e PFI > 17 l/min.,

favoreceram o *Flow Bias* expiratório. Inclusive acrescentaram que a auto-PEEP gerada pela estratégia de inverter a relação I:E e aumentar o volume minuto beneficiou o PFE. Entretanto, a auto-PEEP por imposição de resistência ao fluxo expiratório, comparável à doença obstrutiva, resultou em aumento do PFI, propiciando o *Flow Bias* inspiratório e a retenção de muco.

Ntoumenopoulos, Shannon e Main (2011) confrontaram os critérios encontrados nos estudos anteriores com os perfis de PFI e PFE da VM convencional na prática clínica. Foram analisadas as variáveis de 50 incursões respiratórias de 20 pacientes intubados e ventilados mecanicamente. Foi observado que nenhum paciente ventilava nos critérios compatíveis com o *Flow Bias* expiratório. Os autores sugeriram que os parâmetros ventilatórios habituais cooperam para o *Flow Bias* inspiratório e o acúmulo de secreção dentro dos pulmões.

Em um estudo de bancada Bennett, Thomas e Ntoumenopoulos (2015) testaram a influência de três tempos inspiratórios associados a dois perfis de complacência pulmonar, sobre os picos de fluxo durante a HM. Foi elaborada uma série de experimentos variando entre tempos de 1, 2 e 3 segundos com complacência normal ou baixa. Com os resultados, as sugestões foram que o tempo inspiratório adequado para favorecer o *Flow Bias* expiratório é de 3 segundos nos pulmões de complacência normal e de 2 segundos para os pulmões pouco complacentes. Os autores manifestaram ainda, que em pulmões de complacência normal o tempo inspiratório de 1 segundo extrapolou o limite de segurança, com $P_{pico} > 40 \text{ cmH}_2\text{O}$.

Thomas (2015) em outro estudo de bancada utilizou os critérios preestabelecidos de fluxo para analisar diferentes configurações de HVM. Foi avaliada precisamente a capacidade de diferentes modos e parâmetros ventilatórios atenderem as recomendações: $PFI/PFE \leq 0,9$; $PFE \geq 40 \text{ l/min.}$; $PFE - PFI > 17 \text{ l/min.}$ e $P_{pico} < 40 \text{ cmH}_2\text{O}$. Após 232 ensaios o autor apresentou que o modo controlado a volume obteve maior sucesso quanto ao perfil de fluxo desejado. Com destaque para o fluxo inspiratório de 20 l/min. O modo controlado a pressão foi bem sucedido em atingir o PFE esperado, porém poucos ensaios cumpriram todos os critérios para remoção de secreção. No modo pressão de suporte nenhuma configuração alcançou os três critérios ao mesmo tempo. O autor sugeriu que o modo volume controlado foi o melhor para gerar o *Flow Bias* expiratório durante a HVM.

Contudo, os critérios para promover um *Flow Bias* capaz de mobilizar a secreção e facilitar a remoção de secreção durante a técnica de hiperinsuflação, ainda não foram avaliados em pesquisas com seres humanos (BENNETT; THOMAS; NTOUMENOPOULOS, 2015).

Os estudos realizados *in vitro* são limitados em reproduzir as variações das propriedades mecânicas e as complexas estruturas pulmonares, principalmente das vias aéreas distais. Nesse sentido, são necessárias pesquisas que esclareçam se os critérios de fluxo conhecidos são aplicáveis a HVM na prática clínica (THOMAS, 2015).

2.2.2 Reexpansão Pulmonar e Distribuição da Ventilação

A reexpansão pulmonar é uma abordagem que aumenta a pressão transpulmonar, com objetivo de reabrir o maior número possível de unidades pulmonares. É um recurso para melhorar a distribuição da ventilação alveolar, potencializar a troca gasosa e facilitar a oxigenação arterial (PADOVANI; CAVENAGHI, 2011).

A hiperinsuflação terapêutica é uma das técnicas capazes de aumentar a pressão transpulmonar e o volume de ar nos pulmões. Desta forma, a distensão pulmonar gerada reverte áreas de atelectasia, aumenta a capacidade residual funcional e aumenta a complacência estática do sistema respiratório, caracterizando a reexpansão pulmonar (DIAS *et al.*, 2008). As orientações para prática da técnica incluem inspirações lentas e profundas, seguidas ou não de pausa ao final insuflação (BASSANI, 2009).

A inspiração deve ser lenta para prolongar o tempo inspiratório (Tins) e permitir o aumento do volume pulmonar (PAULUS *et al.*, 2012). A reexpansão acontece em virtude do volume de gás, que chega aos alvéolos colabados por meio dos canais colaterais que formam o mecanismo de interdependência alveolar (CETTI; MOORE; GEDDES, 2006).

A constante de tempo (CT) é o produto da complacência e da resistência. Uma CT representa o intervalo de tempo necessário para a variação de 63% do volume pulmonar total após uma inspiração ou expiração corrente. No caso, uma CT inspiratória é o tempo necessário para a pressão inspiratória insuflar 63% do volume pulmonar total após uma inspiração corrente. (SERRATO; ADASME, 2016). O Tins deve ser ajustado considerando a CT do sistema respiratório, que pode variar de acordo com a condição pulmonar do paciente e da via aérea artificial. Para sugerir que o volume inspirado preencheu de 95 a 99% da capacidade pulmonar, é adequado que a duração do Tins contemple, respectivamente, de 3 a 5 constantes de tempo (HESS, 2014).

Neste contexto, a pausa inspiratória é considerada o tempo para acomodação do ar. Através dos canais colaterais o volume se move dos alvéolos de maior pressão para os de menor pressão, fenômeno chamado *Pendelluft*. O outro evento fisiológico desse período é o relaxamento de tensão do parênquima pulmonar ou *stress relaxation*. Então, esse é o tempo

até haver equilíbrio entre a pressão alveolar e a pressão da via aérea, ou seja, é quando o ar se redistribui entre os alvéolos de diferentes constantes de tempo (FAUSTINO, 2007).

A complacência refere-se às propriedades elásticas do sistema respiratório, traduzindo a capacidade de distensão dos pulmões e da caixa torácica para a inspiração. Por sua vez, a resistência é a capacidade das vias aéreas e do parênquima de se contrapor à entrada do ar nos pulmões com resultante dissipação de energia. A constante de tempo representa a velocidade em que um alvéolo se enche ou se esvazia. Um volume pequeno rapidamente atinge a capacidade máxima de um pulmão pouco complacente. Por isso, este tem menor constante de tempo do que um pulmão normal, que se expande por mais tempo. Em contrapartida, a resistência pulmonar alta prolonga a passagem do ar. E necessariamente aumenta o tempo gasto para atingir toda a capacidade de distensão do alvéolo, nesse caso a constante de tempo é maior (LUCANGELO; BERNABÉ; BLANCH, 2005).

Contudo, a pausa inspiratória parece não ter influência sobre o sucesso da HM ou da HVM, pois não altera os parâmetros indicados para remoção de secreção (THOMAS, 2015).

2.2.3 Repercussões no Tecido Pulmonar

Um dos principais fatores para a ocorrência de lesão pulmonar associada à VM é a hiperdistensão de regiões pulmonares. Na prática clínica, a estratégia de ventilação protetora visa limitar as pressões administradas pela ventilação artificial (NARDELLI *et al.*, 2007).

Quanto aos efeitos adversos, uma importante consideração sobre a hiperinsuflação terapêutica é o risco de lesão pulmonar fruto de altas pressões de pico e altos volumes correntes. A fisiopatologia do barotrauma e do volutrauma inclui a hiperdistensão das unidades pulmonares, rompimento da barreira alvéolo-capilar e o início de um processo inflamatório progressivo (FAUSTINO, 2007). O risco de hiperdistender alvéolos previamente comprometidos é maior. Em casos de atelectasias, consolidações ou acúmulo de líquidos, a área disponível para receber um alto volume é menor, portanto a pressão alveolar será maior (NARDELLI *et al.*, 2007).

Outro mecanismo de lesão é a desconexão do circuito, necessária na HM. A retirada da PEEP impõem o estresse por cisalhamento devido abertura e fechamento cíclico dos alvéolos, o que pode causar o atelectrauma. É possível inclusive, que um fluxo inspiratório excessivo suscite em lesão microvascular nos pulmões. Em função do estresse tensional no alvéolo, uma energia cinética é produzida e alcança estruturas adjacentes (FAUSTINO, 2007).

Na prática clínica não há um recurso cientificamente aceito para medir e controlar a hiperdistensão alveolar. Por isso, são necessários limites de segurança que estimam a repercussão alveolar e determinam as pressões máximas que podem ser administradas na VM (SLUTSKY; RANIERI, 2013). Durante a hiperinsuflação terapêutica é recomendável que a pressão máxima nas vias aéreas não ultrapasse o pico de 40 cmH₂O, com o volume corrente até 50% maior que o basal (BERNEY; DENEHY, 2002) e o platô de 30 cmH₂O (JARDIN; VIEILLARD, 2007). Nesse sentido, a HVM tem as vantagens de controlar e manter as pressões nas vias aéreas, sendo assim uma alternativa mais segura do que a HM (LEMES; GUIMARÃES, 2007).

A *driving pressure* é outro conceito importante no objetivo de evitar o estresse pulmonar causado pela VM. Essa variável é considerada a mais adequada para estratificar o risco de lesão pulmonar. Traduz a variação entre a pressão de platô e a PEEP, e quando limitada em 15 cmH₂O está associada ao aumento da sobrevida para os pacientes na UTI (AMATO *et al.*, 2015).

2.2.4 Repercussões Hemodinâmicas

Outro evento adverso da hiperinsuflação terapêutica, além do risco de lesão pulmonar, é a possível instabilidade hemodinâmica. A hipotensão arterial sobrevém ao aumento da pressão média de vias aéreas (PMVA), condição que diminui o retorno venoso, a pré-carga e logo, o débito cardíaco. Simultaneamente, a pressão alveolar que está alta, pode aumentar a resistência vascular dos pulmões e por conseguinte a pós-carga do ventrículo direito (PADOVANI; CAVENAGHI, 2011).

Além disso, o volume corrente alto pode interferir na frequência cardíaca através do reflexo barorreceptor que altera a função do sistema nervoso autônomo. Tal disfunção autonômica inibe o tônus simpático e estimula o tônus parassimpático, desencadeando a bradicardia reflexa (KOUGIAS *et al.*, 2010).

Na HM, combinar o volume corrente alto com o aumento da frequência respiratória favorece o aprisionamento de ar, fator responsável pela queda do débito cardíaco. Porém, a recuperação deve ser rápida após o final da manobra, com retorno as características basais após 15 minutos (SINGER *et al.*, 1994). Optar pela HVM pode ser uma maneira de evitar o aprisionamento de ar e reduzir as alterações cardiovasculares. A possibilidade de monitorar as variáveis ventilatórias a cada ciclo permite assegurar que antes da próxima inspiração, haverá uma expiração completa (BERNEY; DENEHY, 2002).

2.2.5 Dissincronias

Uma função da ventilação mecânica é diminuir o trabalho ventilatório para reverter ou evitar a fadiga da musculatura envolvida. Logo, é necessária uma relação de sincronia do ventilador para com a demanda ventilatória do paciente. Parte importante da assistência ventilatória consiste em ajustar parâmetros para contornar as constantes mudanças na interação entre paciente e ventilador, uma vez que nenhum modo convencional de ventilação mecânica é isento de dissincronias (SASSON; FOSTER, 2001).

A importância de detectar e reverter as dissincronias provém da estreita relação entre a má adaptação e o aumento do tempo em ventilação mecânica. O que implica no maior tempo de permanência na UTI e consequente aumento no índice de mortalidade (DRES *et al.*, 2016).

O cuidado com o padrão ventilatório do paciente é fundamental para evitar a dispnéia e a sobrecarga, fatores que causam desconforto, risco de hiperdistensão alveolar e a necessidade de sedação prolongada (MURIAS *et al.*, 2013).

Na prática clínica a detecção de dissincronias conta com o exame físico e a inspeção visual dos gráficos no monitor do ventilador. Embora o ideal seja a avaliação invasiva com eletromiografia ou com balão esofágico, a observação do formato das ondas gráficas tem boa correlação com a leitura do balão esofágico, que se baseia na pressão pleural (THILLE *et al.*, 2006). As dissincronias podem ocorrer quanto ao disparo, o fluxo ou a ciclagem (WIT, 2011).

O disparo ineficaz pode ser causado por fraqueza muscular, sedação profunda ou aprisionamento de ar. É comum que um alto nível de assistência gere uma hiperinsuflação dinâmica. Significa que antes de chegar à capacidade residual funcional, o paciente inicia uma inspiração, porém esse esforço não será suficiente para vencer a auto-PEEP (BLANCH *et al.*, 2013).

Quanto ao fluxo, se excessivo, a velocidade do ar pode ser superior à necessidade do paciente definida pelo controle do centro respiratório. No entanto é habitual que essa dissincronia seja decorrência de um fluxo lento. No modo controlado a volume o fluxo é fixo, e a alteração acontece se a velocidade programada for menor do que a demanda ventilatória do paciente, principalmente nos casos de insuficiência respiratória aguda (WIT, 2011).

A dissincronia de ciclagem surge se o tempo inspiratório neural e o tempo inspiratório ajustado no ventilador não estiverem em sincronia. A causa pode ser o drive ventilatório anormal ou o ajuste inadequado do ventilador, antecipando ou retardando a ciclagem. É observada pela presença de um ciclo ventilatório precoce, quando o esforço inspiratório se

mantém após a fase inspiratória assistida ou pelo aumento da pressão no final da inspiração, provocado pelo esforço expiratório (WIT, 2011).

3 JUSTIFICATIVA

A ventilação mecânica invasiva ocorre através de uma via aérea artificial, o que prejudica a função mucociliar. Os outros fatores como a sedação, a umidificação inadequada, a alta concentração de oxigênio e as lesões na mucosa devido à aspiração a vácuo, juntamente com a excessiva produção de secreção contribuem para o desenvolvimento de infecção pulmonar e atelectasia por obstrução. Dentre os recursos disponíveis para favorecer a remoção de secreção temos a hiperinsuflação terapêutica (LEMES; GUIMARÃES, 2007).

A remoção de secreção vai depender da relação entre o movimento do ar e as propriedades reológicas do muco. O fluxo de ar é capaz de tendenciar o movimento da secreção, desde que esta tenha o aspecto fluido. O sentido do movimento vai depender da diferença entre os picos de fluxo inspiratório e expiratório, o *Flow Bias* (VOLPE *et al.*, 2008).

Na ventilação corrente os parâmetros utilizados predominantemente geram um *flow bias* inspiratório, direcionando a secreção para dentro os pulmões (NTOUMENOPOULOS; SHANNON; MAIN, 2011).

Para que a hiperinsuflação terapêutica seja eficaz no propósito de remover a secreção, o pico de fluxo expiratório deve exceder o pico de fluxo inspiratório. Desta forma é gerado um *Flow Bias* expiratório, ou seja, o fluxo de ar expirado traz a secreção em direção às vias aéreas centrais, para ser removida. Caso contrário, se o *Flow Bias* for inspiratório, o fluxo de ar inspirado conduz a secreção para as vias aéreas distais (BENNETT; THOMAS; NTOUMENOPOULOS, 2015).

O uso da hiperinsuflação terapêutica com ventilador mecânico tem sido comparado com a aplicação manual da técnica em diversos estudos, porém não existem evidências científicas que demonstrem qual o modo mais eficaz e seguro para aplicação da técnica na prática clínica (THOMAS, 2015). Não há estudos que tenham comparado os modos de HVM quanto aos critérios de efetividade da técnica, tais como o *flow bias*, se o tempo inspiratório é suficiente para redistribuição do fluxo inspirado ou se o volume corrente encontra-se acima dos limiares considerados adequados para expansão/desobstrução pulmonar. Da mesma forma, não há estudos que tenham comparado os modos de HVM quanto a critérios de segurança, tais como, marcadores de hiperdistensão alveolar, ocorrência de dissincronias durante a aplicação da técnica, hemodinâmica e volume minuto.

Por essa razão, a análise dos perfis de pressão, fluxo e volume em diferentes modos de hiperinsuflação com o ventilador mecânico pode fornecer informações quanto a eficácia e segurança que subsidiem novos estudos e recomendações para a aplicação da técnica.

4 OBJETIVOS

4.1 Objetivo Geral

Analisar os perfis de pressão, fluxo e volume durante a aplicação da hiperinsuflação terapêutica com o ventilador mecânico, utilizando os modos ventilatórios convencionais pressão controlada, volume controlado e pressão de suporte, com duas configurações de parâmetros distintas para cada modo.

4.2 Objetivos Específicos

- Comparar a HVM realizada nos diferentes modos convencionais de ventilação quanto a:
 1. Marcadores fisiológicos de eficácia da técnica: *flow bias*, volume corrente administrado e índice tempo de insuflação-constante de tempo do sistema respiratório;
 2. Marcadores fisiológicos de segurança da técnica: pressões alveolares durante a hiperinsuflação terapêutica, dissincronias, hemodinâmica e volume minuto.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 Local do Estudo

O estudo foi realizado no Hospital Federal de Bonsucesso (HFB), localizado na cidade do Rio de Janeiro.

5.2 Desenho do Estudo

O estudo foi um ensaio clínico explanatório, randomizado e cruzado, onde todos os participantes foram submetidos a seis modos de aplicação da HVM (2 ajustes diferentes em cada modo ventilatório) de forma randomizada. A randomização foi realizada no utilitário *Randomizer*, em blocos de 6 considerando os modos ventilatórios e configurações utilizadas.

5.3 Caracterização da Amostra

5.3.1 Sujeitos

Neste estudo foram incluídos pacientes adultos internados na Unidade de Terapia Intensiva, intubados ou traqueostomizados e ventilados mecanicamente no período mínimo de 24 horas.

5.3.2 Critérios de Elegibilidade

Para obter uma amostra heterogênea o critério de inclusão foi amplo, sendo definido basicamente pela instituição da ventilação mecânica invasiva há no mínimo 24 horas e presença de *drive* ventilatório (NTOUMENOPOULOS; SHANNON; MAIN, 2011).

Não foram incluídos pacientes com instabilidade hemodinâmica (definida por frequência cardíaca > 120 batimentos por minuto e pressão arterial média < 60 mmHg) ou dependentes de altas doses de amins vasoativas (infusão > 5 ml/h). Os considerados hipersecretivos (quando necessária aspiração traqueal em períodos < 2 horas), em crise de broncoespasmo, com atelectasia (identificada na radiografia de tórax), com pneumotórax não drenado ou com síndrome do desconforto respiratório agudo (de acordo com a análise laboratorial e a definição de Berlim, 2012). Pacientes no pós-operatório imediato de neurocirurgia, em uso de dreno de tórax ou sob o risco de hemorragia pulmonar também não foram incluídos (LEMES; ZIN; GUIMARÃES, 2009).

5.4 Considerações Éticas

Este projeto foi encaminhado ao Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) do Centro Universitário Augusto Motta e posteriormente ao CEP do Hospital Federal de Bonsucesso. Seguiu as normas da Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde que estabelece os preceitos éticos para a pesquisa envolvendo seres humanos (BRASIL, 2012) e as diretrizes da Declaração de Helsinque. Antes da realização de qualquer procedimento, todos os responsáveis legais foram informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo e orientados a assinar o termo de consentimento livre e esclarecido - TCLE (APÊNDICE 1).

As informações obtidas estão mantidas em sigilo absoluto para garantir o anonimato e a privacidade dos participantes da pesquisa. Todos os responsáveis legais foram informados que

estavam livres para retirar seu familiar do estudo no momento que assim desejassem. Aos que se interessarem, os resultados do estudo estão disponíveis.

5.5 Análise dos Fatores de Risco

A hiperinsuflação com ventilador mecânico é um procedimento mais seguro e prático do que a forma manual da técnica, portanto não interfere na rotina de atendimento. Dessa forma, os benefícios da técnica foram somados ao tratamento clínico vigente (LEMES; GUIMARÃES, 2007).

Os fatores de risco inerentes à aplicação da HVM foram controlados pela monitorização do paciente. A pressão máxima na via aérea foi limitada em 40 cmH₂O, para garantir a segurança na aplicação da técnica, afastar o risco de barotrauma e minimizar as alterações hemodinâmicas (BERNEY; DENEHY, 2002). Todos os procedimentos estiveram sob a responsabilidade da pesquisadora responsável, sendo esta uma profissional experiente, além disso, esteve disponível o apoio de uma equipe multiprofissional caso fosse necessário.

5.6 Instrumentos Utilizados na Coleta de Dados

Após assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (APÊNDICE 1), pelo respectivo responsável legal, o paciente participante da pesquisa foi submetido a uma avaliação clínica e análise da mecânica ventilatória.

A avaliação clínica foi composta por análise do prontuário, preenchimento da ficha clínica (APÊNDICE 2), monitorização das variáveis hemodinâmicas e da saturação periférica de oxigênio com o Monitor de sinais vitais multiparamétrico (BM5-Bionet[®] Ltd. ou DX2021-Dixtal Biomédica[®] Ltda.) disponível no leito.

A ficha clínica foi desenvolvida para registrar os dados de identificação, o diagnóstico, o nível de consciência, as variáveis antropométricas, a mecânica ventilatória, as variáveis ventilatória e os sinais vitais em *baseline* e durante a HVM.

Basicamente as variáveis antropométricas foram a altura em centímetros, medida pela Trena Elástica (05 m x 18 mm Sparta[®]) e o peso predito calculado através da fórmula que considera a altura e o gênero do paciente. Sendo para homens $50 + 0,91 \times (\text{altura em centímetros} - 152,4)$ e para mulheres $45,5 + 0,91 \times (\text{altura em centímetros} - 152,4)$. O resultado foi multiplicado para obter o volume corrente alvo de 6 a 8 ml/kg (BROWER *et al.*, 2000).

O nível de consciência dos pacientes sedados foi avaliado através da escala *Richmond Agitation Sedation Scale* (RASS) (ANEXO 1), que avalia o grau de sedação e a agitação psicomotora (SESSLER, *et al.*, 2002). Para os pacientes sem sedação foi utilizada a Escala de Coma de Glasgow (ECG) (ANEXO 2), que foi desenvolvida para avaliação do nível de consciência após um trauma cranioencefálico, porém sua aplicação foi extrapolada internacionalmente para a avaliação do nível de consciência de pacientes comatosos nas unidades de terapia intensiva (OLIVEIRA; PEREIRA; FREITAS, 2014).

Outro instrumento utilizado para estratificação do paciente foi o Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE II) (ANEXO 3), um índice prognóstico que estima a gravidade da doença e indica a mortalidade hospitalar, considerando a idade, as comorbidades e os piores resultados laboratoriais nas primeiras 24 horas de internação na UTI (CARDOSO; CHIAVONE, 2013).

Para análise da mecânica ventilatória, coleta das variáveis ventilatórias em *baseline* e durante a HVM o paciente foi acoplado ao Ventilador Pulmonar i X5 ClearView™ (BD Intermed® Equipamento Médico Hospitalar Ltda.). Na conexão do ventilador as redes de oxigênio e de ar comprimido, foram utilizadas Válvulas Redutoras de Pressão com Manômetro (Centercor® Produtos Hospitalares).

A via aérea artificial foi composta por circuito em silicone autoclavável para ventilação, filtro bacteriológico *Passive Humidification & Filtration* (Gibeck® Teleflex Incorporated Ltd.), sistema de aspiração fechada SuctionPro 72™ (Portex® Smiths Medical) e tubo endotraqueal (Aerotube® Hum Systems for life®) ou cânula de traqueostomia (Portex® Smiths Medical).

O local onde foi realizada a coleta de dados (Unidade de Terapia Intensiva do Hospital Federal de Bonsucesso) dispôs da infraestrutura necessária, com todos os equipamentos e materiais de consumo para a realização do estudo, além do suporte por parte da equipe multiprofissional.

5.7 Organização da Coleta de Dados

Na UTI do HFB foram identificados os pacientes ventilados mecanicamente, avaliados e selecionados os elegíveis, de acordo com os critérios de exclusão. Uma vez selecionado o paciente, foi realizada a coleta de dados do prontuário.

Caso o paciente não estivesse acoplado ao Ventilador Pulmonar i X5, era realizada a troca para este com a ajuda do fisioterapeuta plantonista. Todas as vezes que este ventilador

foi ligado executou automaticamente a sua rotina de testes e calibrações. O alarme de segurança foi ajustado com Ppico de 45 cmH₂O (DENNIS; JACOB; BUDGEON, 2012).

Após o posicionamento em supino com cabeceira à 30°, realizada a ausculta pulmonar e a aspiração traqueal, ainda com os parâmetros ventilatórios corrente, foram coletados os sinais vitais e as variáveis ventilatórias em *baseline* (LEMES; ZIN; GUIMARÃES, 2009).

Para a análise da mecânica ventilatória foi configurado o modo de ventilação com volume controlado, o volume corrente ajustado em 8 ml/kg de peso predito, o fluxo foi de 60 litros por minuto com onda quadrada, a PEEP e a FiO₂ não foram alteradas. Após a pausa de 2 segundos os valores de pressão de pico, pressão de platô, PEEP, pico de fluxo e volume corrente foram localizados no gráfico com ajuda do cursor de seleção. Foram realizadas três medidas para obtenção dos valores de média para cada variável e posterior cálculo da complacência estática, da resistência das vias aéreas e da constante de tempo inspiratório (SAVIAN; PARATZ; DAVIES, 2006).

Ao fim das medidas de mecânica ventilatória, os parâmetros foram reajustados para a configuração corrente. Foi realizada a randomização dos modos ventilatórios *Pressure Controlled Ventilation* (PCV), *Volume Controlled Ventilation* (VCV) e *Pressure Support Ventilation* (PSV). Para cada modo foram ajustadas duas configurações diferentes: uma utilizando fluxo/tempo inspiratório semelhante aos da ventilação convencional e outra com modificação dos parâmetros de forma que o tempo inspiratório fosse mais longo.

De acordo com o III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica (2007), os modos PCV e VCV são assisto-controlados, ou seja, se o paciente apresentar *drive* ventilatório, passa a ser capaz de disparar a inspiração através do mecanismo de sensibilidade do ventilador. Em PSV, que é um modo espontâneo o paciente influencia todas as variáveis ventilatórias e conta com a ajuda da pressão de suporte durante a inspiração. Neste estudo todos os pacientes apresentaram *drive* ventilatório, sendo este, um critério de elegibilidade.

5.8 Protocolo de Pesquisa

Para registro dos resultados, foi elaborada uma ficha de coleta (APÊNDICE 3). Foram registrados nove valores, excluídos os dois menores, os dois maiores e calculada a média dos cinco valores restantes para as variáveis, volume corrente, tempo inspiratório (em VCV e PSV), pico de fluxo inspiratório (em PCV e PSV) e pico de fluxo expiratório. A pressão média nas vias aéreas foi obtida como a moda dos nove valores registrados. A frequência respiratória foi definida como o total de incursões em dois minutos, dividido por dois. O

tempo expiratório e o volume minuto foram calculados com suas respectivas fórmulas ("Tempo total-Tempo inspiratório" e "Volume minuto x Frequência respiratória"). A PEEP e a FiO_2 de *baseline* foram conservadas. Todos os dados ventilatórios foram coletados no monitor do ventilador mecânico (LEMES; ZIN; GUIMARÃES, 2009).

Após a randomização dos modos, foi iniciado o protocolo de HVM (FIGURA 1), no qual foi estipulada a pressão de pico de 40 cmH₂O para hiperinsuflar os pulmões. Como parâmetros específicos foram definidos o tempo inspiratório de 1 e 3 segundos no modo PCV; o fluxo inspiratório de 20 e 50 litros por minuto, com onda desacelerada no modo VCV e o critério de ciclagem em 10 e 25% do pico de fluxo inspiratório no modo PSV.

Para atingir a Ppico de 40 cmH₂O no modo VCV o volume foi incrementado em alíquotas de 150 ml.; Nos modos PCV e PSV a pressão inspiratória foi ajustada para o valor que sobre a PEEP, somasse os 40 cmH₂O (DENNIS; JACOB; BUDGEON, 2012).

Durante o procedimento de HVM os três minutos iniciais foram destinados à adaptação do paciente ao modo, posteriormente a coleta das variáveis durou dez minutos, sendo o último minuto destinado aos sinais vitais e medida da mecânica com pausa inspiratória de 2 segundos (AHMED *et al.*, 2010). Nos modos PCV e VCV a frequência respiratória foi ajustada em zero com sensibilidade a fluxo de 2 l/min., para permitir a autonomia do paciente assistindo a prótese e impedir a interferência de ciclos controlados pelo ventilador (PÁDUA; MARTINEZ, 2001).

Entre a troca dos modos ventilatórios houve o intervalo de quinze minutos, no qual o paciente permaneceu ventilando no modo vigente, porém com redução da pressão de pico para o valor registrado em *baseline*. Recuperando assim, a estabilidade hemodinâmica e o gradiente de pressão para iniciar o modo seguinte de HVM (SINGER *et al.*, 1994).

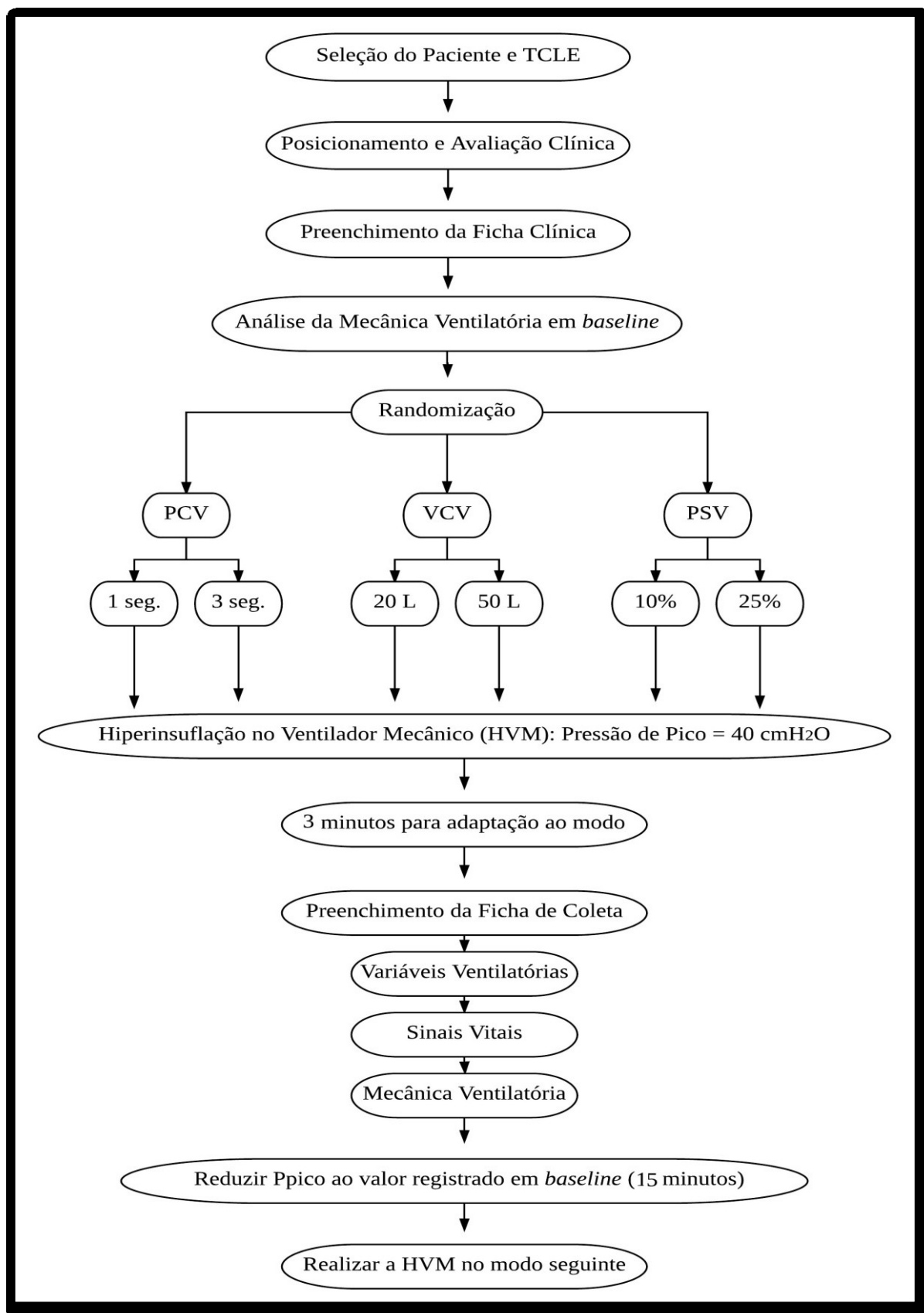


Figura 1 - Protocolo Experimental.

5.8.1 Variáveis de Desfecho *Flow Bias* (THOMAS, 2015):

- Valor absoluto de PFI e PFE;
- Ocorrência de PFI-PFE ≥ 17 l/min.;
- Ocorrência de PFI/PFE ≤ 0.9 ;
- Ocorrência de PFE > 40 l/min.;
- Ocorrência concomitante dos três critérios anteriores;

5.8.2 Variáveis de Desfecho para Volume (MAA *et al.*, 2005):

- Volume corrente (média do modo);
- Volume Minuto (média do modo);
- Ocorrência de volume corrente $> 50\%$ considerando 6 ml/kg durante a HVM;
- Ocorrência de volume corrente $> 50\%$ considerando 8 ml/kg durante a HVM;

5.8.3 Variáveis de Desfecho para Distribuição da Ventilação (RESTREPO; SERRATO; ADASME, 2016):

- Tempo inspiratório ≥ 5 Constantes de tempo;
- Tempo inspiratório ≥ 4 Constantes de tempo;
- Tempo inspiratório ≥ 3 Constantes de tempo;

5.8.4 Variáveis de Desfecho para Pressão nas Vias Aéreas (RICARD, 2004):

- Valor absoluto da pressão média nas vias aéreas;
- Valor absoluto da pressão alveolar;
- Ocorrência de pressão alveolar > 30 cmH₂O;
- Ocorrência de pressão alveolar > 35 cmH₂O;
- Valor absoluto de *Driving Pressure*;

5.8.5 Variáveis de Desfecho para alterações Hemodinâmicas (BERNEY; DENEHY, 2003):

- Pressão arterial média (média do modo);
- Frequência cardíaca (média do modo);

5.8.6 Variáveis de Desfecho para Dissincronias (WIT, 2011):

- Total de ciclos com Esforço Ineficaz;
- Total de ciclos com Tempo Inspiratório Neural > Tempo Inspiratório do Ventilador;
- Total de ciclos com Tempo Inspiratório do Ventilador > Tempo Inspiratório Neural;
- Total de ciclos com Fluxo Inspiratório Insuficiente.

5.9 Análise Estatística

Os dados coletados foram amostrados em planilhas do Microsoft Excel. Foi computado o número de ocorrências para as variáveis dicotômicas (N) dissincronias, pressão alveolar, constante de tempo e volume corrente > 50%, considerando-se todos os modos de HVM em todos os pacientes. As variáveis contínuas foram comparadas por meio de ANOVA one way repetidas ou seu correspondente não paramétrico, de acordo com o teste de normalidade. O teste de Tukey foi utilizado para comparações múltiplas e o nível de significância foi estabelecido em 5%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, F.; SHAFEEQ, A. M.; MOIZ, J. A.; GEELANI, M. A. - Comparison of effects of manual versus ventilator hyperinflation on respiratory compliance and arterial blood gases in patients undergoing mitral valve replacement. - **Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care**, v. 39, n. 5, p. 437-443, 2010.

AMATO, M. B.; CARVALHO, C. R.; ISOLA, A.; VIEIRA, S.; ROTMAN, V.; MOOCK, M.; FRANCA, S. - Mechanical ventilation in acute lung injury (ALI)/Acute respiratory discomfort syndrome (ARDS). - **Jornal brasileiro de pneumologia: Publicação oficial da Sociedade Brasileira de Pneumologia e Tisiologia**, v. 33, n. 2, p. 119-127, 2007.

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**, v. 101, n. 2, p. 103-110, 2014.

ASSMANN, C. B.; CARDOSO, P. J.; VIEIRA, F. K.; MELLO, M.; JUNIOR, A. F. - Hiperinsuflação pulmonar com ventilador mecânico versus aspiração traqueal isolada na higiene brônquica de pacientes submetidos à ventilação mecânica. - **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 28, n. 1, p. 27-32, 2016.

BASSANI, M. A. - **Avaliação de variáveis ventilatórias segundo o manejo do ventilador pulmonar manual autoinflável**. 2009. B293a. Dissertação (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Ciências Médicas, Campinas, SP, 2009.

BARKER, M.; ADAMS, S. - An evaluation of a single chest physiotherapy treatment on mechanically ventilated patients with acute lung injury. - **Physiotherapy Research International**, v. 7, n. 3, p. 157-169, 2002.

BENJAMIN, R. G.; CHAPMAN, G. A.; KIM, C. S.; SACKNER, M. A. - Removal of bronchial secretions by two-phase gas-liquid transport. - **Chest**, v. 95, n. 3, p. 658-663, 1989.

BENNETT, B. G.; THOMAS, P.; NTOUMENOPOULOS, G. - Effect of Inspiratory Time and Lung Compliance on Flow Bias Generated During Manual Hyperinflation: A Bench Study. - **Respiratory Care**, v. 60, n. 10, p. 1449-1458, 2015.

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 - **Physiotherapy Research International**, v. 7, n. 2, p. 100-108, 2002.

BERNEY, S.; DENEHY, L. - The effect of physiotherapy treatment on oxygen consumption and haemodynamics in patients who are critically ill - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 49, n. 2, p. 99-105, 2003.

BERNEY, S.; DENEHY, L.; PRETTO, J. - Head-down tilt and manual hyperinflation enhance sputum clearance in patients who are intubated and ventilated. - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 50, n. 1, p. 9-14, 2004.

BLATTNER, C.; GUARAGNA, J. C.; SAADI, E. - Oxygenation and static compliance improved immediately after early manual hyperinflation following myocardial revascularisation: randomised controlled trial - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 54, n. 3, p. 173-178, 2008.

BROWER, R. G.; SHANHOLTZ, C. B.; FESSLER, H. E.; SHADE, D. M.; WHITE, P.; WIENER, C. M.; PIANTADOSI, S. - Ventilation with lower tidal volumes as compared with traditional tidal volumes for acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome - **The New England Journal of Medicine**, v. 342, n. 18, p. 1301-1308, 2000.

CARDOSO, L. G. S.; CHIAVONE, P. A. - APACHE II medido na saída dos pacientes da Unidade de Terapia Intensiva na previsão da mortalidade. - **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 21, n. 3, p. 811-819, 2013.

CETTI, E. J.; MOORE, A. J.; GEDDES, D. M. - Collateral ventilation. - **Thorax**, v. 61, n. 5, p. 371-373, 2006.

CLEMENT, A. J.; HÜBSCH, S. K. - Chest physiotherapy by the 'bag squeezing' method: a guide to technique. - **Physiotherapy**, v. 54, n. 10, p. 355-359, 1968.

CHOI, J. S. P.; JONES, A. Y. M. - Effects of manual hyperinflation and suctioning on respiratory mechanics in mechanically ventilated patients with ventilator-associated pneumonia. - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 51, n. 1, p. 25-30, 2005.

DENNIS, D.; JACOB, W.; BUDGEON, C. - Ventilator versus manual hyperinflation in clearing sputum in ventilated intensive care unit patients. - **Anaesthesia and intensive care**, v. 40, n. 1, p. 142-149, 2012.

DIAS, C. M.; PLÁCIDO, T. R.; FERREIRA, M. F. B.; GUIMARÃES, F. S.; MENEZES, S. L. S. - Inspirometria de incentivo e breath stacking: repercussões sobre a capacidade inspiratória em indivíduos submetidos à cirurgia abdominal. - **Revista Brasileira de Fisioterapia**, v. 12, n. 2, p. 94-99, 2008.

DRES, M.; RITTAYAMAI, N.; BROCHARD, L. - Monitoring patient-ventilator asynchrony. - **Current Opinion in Critical Care**, v. 22, n. 3, p. 246-253, 2016.

FAUSTINO, E. A. - Mecânica pulmonar de pacientes em suporte ventilatório na unidade de terapia intensiva. Conceitos e monitorização. - **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 19, n. 2, p. 161-169, 2007.

FREITAG, L.; LONG, W. M.; KIM, C. S.; WANNER, A. - Removal of excessive bronchial secretions by asymmetric high-frequency oscillations. - **Journal of Applied Physiology**, v. 67, n. 2, p. 614-619, 1989.

GOSSELINK, R.; BOTT, J.; JOHNSON, M.; DEAN, E.; NAVA, S.; NORRENBORG, M.; VINCENT, J. L. - 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 Medicine**, v. 34, n. 7, p. 1188-1199, 2008.

HAYES, K.; SELLER, D.; WEBB, M.; HODGSON, C. L.; HOLLAND, A. E. - Ventilator hyperinflation: a survey of current physiotherapy practice in Australia and New Zealand. - **New Zealand Journal of Physiotherapy**, v. 39, n. 3, p. 124-130, 2011.

HESS, D. R. - Respiratory mechanics in mechanically ventilated patients - **Respiratory Care**, v. 59, n. 11, p. 1773-1794, 2014.

HODGSON, C. L.; DENEHY, L.; NTOUMENOPOULOS, G.; SANTAMARIA, J.; CARROLL, S. - An investigation of the early effects of manual lung hyperinflation in critically ill patients. - **Anaesthesia and Intensive Care**, v. 28, n. 3, p. 255-261, 2000.

HODGSON, C.; NTOUMENOPOULOS, G.; DAWSON, H.; PARATZ, J. - The Mapleson C circuit clears more secretions than the Laerdal circuit during manual hyperinflation in mechanically-ventilated patients: a randomised cross-over trial. - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 53, n. 1, p. 33-38, 2007.

JARDIN, F.; VIEILLARD, A. - Is there a safe plateau pressure in ARDS? The right heart only knows. - **Intensive Care Medicine**, v. 33, n. 3, p. 444-447, 2007.

JONES, A. Y. M. - Secretion movement during manual lung inflation and mechanical ventilation. - **Respiratory Physiology & Neurobiology**, v. 132, n. 3, p. 321-327, 2002.

JONES, A. M.; THOMAS, P. J.; PARATZ, J. D. - Comparison of flow rates produced by two frequently used manual hyperinflation circuits: a bench top study. - **Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care**, v. 38, n. 6, p. 513-516, 2009.

KIM, C. S.; RODRIGUEZ, C. R.; ELDRIDGE, M. A.; SACKNER, M. A. - Criteria for mucus transport in the airways by two-phase gas-liquid flow mechanism. - **Journal of Applied Physiology**, v. 60, n. 3, p. 901-907, 1985.

KIM, C. S.; GREENE, M. A.; SANKARAN, S.; SACKNER, M. A. - Mucus transport in the airways by two-phase gas-liquid flow mechanism: continuous flow model. - **Journal of Applied Physiology**, v. 60, n. 3, p. 908-917, 1986.

KIM, C. S.; IGLESIAS, A. J.; SACKNER, M. A. - Mucus clearance by two-phase gas-liquid flow mechanism: asymmetric periodic flow model. - **Journal of Applied Physiology**, v. 62, n. 3, p. 959-971, 1987.

KOUGIAS, P.; WEAKLEY, S. M.; YAO, Q.; LIN, P. H.; CHEN, C. - Arterial baroreceptors in the management of systemic hypertension. **Medical Science Monitor: International Medical Journal of Experimental and Clinical Research**, v. 16, n. 1, p. 1-8, 2010.

LEMES, D. A.; GUIMARÃES, F. S. - O uso da hiperinsuflação como recurso fisioterapêutico em unidade de terapia intensiva. - **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 19, n. 2, p. 221-225, 2007.

LEMES, D. A.; ZIN, W. A.; GUIMARÃES, F. S. - Hyperinflation using pressure support ventilation improves secretion clearance and respiratory mechanics in ventilated patients with pulmonary infection: A randomized crossover trial. - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 55, n. 4, p. 249-254, 2009.

LUCANGELO, U.; BERNABÉ, F.; BLANCH, L. - Respiratory mechanics derived from signals in the ventilator circuit. **Respiratory Care**, v. 50, n. 1, p. 55-67, 2005.

MAA, S. H.; HUNG, T. J.; HSU, K. H.; HSIEH, Y. I.; WANG, K. Y.; WANG, C. H.; LIN, H. C. - Manual hyperinflation improves alveolar recruitment in difficult-to-wean patients. - **Chest Journal**, v. 128, n. 4, p. 2714-2721, 2005.

MAXWELL, L. J.; ELLIS, E. R. - The effect of circuit type, volume delivered and “rapid release” on flow rates during manual hyperinflation. - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 49, n. 1, p. 31-38, 2003.

MAXWELL, L.; ELLIS, E. R. - The effects of three manual hyperinflation techniques on pattern of ventilation in a test lung model. - **Anaesthesia and intensive care**, v. 30, n. 3, p. 283-288, 2002.

MURIAS, G.; VILLAGRA, A.; BLANCH, L. - Patient-ventilator dyssynchrony during assisted invasive mechanical ventilation - **Minerva Anestesiologica**, v. 79, n. 4, p. 434-444, 2013.

NARDELLI, L. M.; GARCIA, C. S. N. B.; PÁSSARO, C. P.; ROCCO, P. R. - Entendendo os mecanismos determinantes da lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica. - **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 19, n. 4, p. 469-74, 2007.

NIELSEN, J.; NYGÅRD, E.; KJAERGAARD, J.; TINGLEFF, J.; LARSSON, A. - Hemodynamic effect of sustained pulmonary hyperinflation in patients after cardiac surgery: open vs. closed chest. - **Acta Anaesthesiologica Scandinavica**, v. 51, n. 1, p. 74-81, 2007.

NTOUMENOPOULOS, G.; PRESNEILL, J.; MCELHOLUM, M.; CADE, J. - Chest physiotherapy for the prevention of ventilator-associated pneumonia - **Intensive Care Medicine**, v. 28, n. 7, p. 850-856, 2002.

NTOUMENOPOULOS, G.; DAWSON, H. - Pros and cons of manual lung hyperinflation. - **Anaesthesia**, v. 55, n. 5, p. 489-518, 2000.

NTOUMENOPOULOS, G.; SHANNON, H.; MAIN, E. - Do commonly used ventilator settings for mechanically ventilated adults have the potential to embed secretions or promote clearance? - **Respiratory Care**, v. 56, n. 12, p. 1887-1892, 2011.

NUNES, G. S.; BOTELHO, G. V.; SCHIVINSKI, C. I. S. - Hiperinsuflação manual: revisão de evidências técnicas e clínicas - **Fisioterapia em Movimento**, v. 26, n. 2, p. 423-435, 2013.

OLIVEIRA, D. M. P.; PEREIRA, C. U.; FREITAS, Z. M. P. - Escalas para avaliação do nível de consciência em trauma cranioencefálico e sua relevância para a prática de enfermagem em neurocirurgia. - **Brazilian Neurosurgery**, v. 33, n. 1, p. 22-32, 2014.

ORTIZ, T. A.; FORTI, G.; VOLPE, M. S.; CARVALHO, C. R. R.; AMATO, M. B. P.; TUCCI, M. R. - Experimental study on the efficiency and safety of the manual hyperinflation maneuver as a secretion clearance technique. - **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 39, n. 2, p. 205-213, 2013.

PADOVANI, C.; CAVENAGHI, O. M. - Recrutamento alveolar em pacientes no pós-operatório imediato de cirurgia cardíaca. - **Revista Brasileira de Cirurgia Cardiovascular**, v. 26, n. 1, p. 116-121, 2011.

PÁDUA, A. I.; MARTINEZ, J. A. B. - Modos de assistência ventilatória. - **Medicina Ribeirão Preto Online**, v. 34, n. 2, p. 133-142, 2001.

PATMAN, S.; JENKINS, S.; STILLER, K. - Manual hyperinflation: Effects on respiratory parameters. - **Physiotherapy Research International**, v. 5, n. 3, p. 157-171, 2000.

PAULUS, F.; BINNEKADE, J. M.; VROOM, M. B.; SCHULTZ, M. J. - Benefits and risks of manual hyperinflation in intubated and mechanically ventilated intensive care unit patients: a systematic review. - **Critical Care**, v. 16, n. 4, p. 145-154, 2012.

REDFERN, J.; ELLIS, E.; HOLMES, W. - The use of a pressure manometer enhances student physiotherapists performance during manual hyperinflation - **Australian Journal of Physiotherapy**, v. 47, n. 2, p. 121-131, 2001.

RESTREPO, R. D.; SERRATO, D. M.; ADASME, R. - Assessing Respiratory System Mechanical Function. - **Clinics in Chest Medicine**, v. 37, n. 4, p. 615-632, 2016.

RICARD, J. D. - Barotrauma during mechanical ventilation: why aren't we seeing any more? - **Intensive Care Medicine**, v. 30, n. 4, p. 533-535, 2004.

SANTOS, L. J.; BLATTNER, C. N.; MICOL, C. A. B.; PINTO, F. A. M.; RENON, A.; PLETSCHE, R. - Efeitos da manobra de hiperinsuflação manual associada à pressão positiva expiratória final em pacientes submetidos à cirurgia de revascularização miocárdica. - **Revista Brasileira de Terapia Intensiva**, v. 22, n. 1, p. 40-46, 2010.

SASSOON, C. S. H.; FOSTER, G. T. - Patient-ventilator asynchrony - **Current Opinion in Critical Care**, v. 7, n. 1, p. 28-33, 2001.

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. - **Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care**, v. 35, n. 5, p. 334-341, 2006.

SESSLER, C. N.; GOSNELL, M. S.; GRAP, M. J.; BROPHY, G. M.; O'NEAL, P. V.; KEANE, K. A.; ELSWICK, R. K. - The Richmond Agitation Sedation Scale: validity and reliability in adult intensive care unit patients. - **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 166, n. 10, p. 1338-1344, 2002.

SIKKA G., RADHAKRISHNAN J. - Comparison of the Effect of Manual and Ventilator Hyperinflation on Static Lung Compliance in Mechanically Ventilated Patients with Pulmonary Acute Lung Injury/ ARDS. - **Journal of Anesthesia & Critical Care: Open Access**, v. 5, n. 4, p. 196-201, 2016.

SINGER, M.; VERMAAT, J.; HALL, G.; LATTE, G.; PATEL, M. - Hemodynamic Effects of Manual Hyperinflation in Critically Ill Mechanically Ventilated Patients. - **Chest**, v. 106, n. 4, p. 1182-1187, 1994.

SLUTSKY, A. S.; RANIERI, V. - Ventilator-induced lung injury. - **New England Journal of Medicine**, v. 369, n. 22, p. 2126-2136, 2013.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE PNEUMOLOGIA E TISIOLOGIA - III Consenso Brasileiro de Ventilação Mecânica. - **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, v. 33, n. 2, p. 1-150, 2007.

TEASDALE, G.; JENNETT, B. - Assessment of coma and impaired consciousness: a practical scale. - **The Lancet**, v. 304, n. 7872, p. 81-84, 1974.

THILLE, A. W.; RODRIGUEZ, P.; CABELLO, B.; LELLOUCHE, F.; BROCHARD, L. - Patient-ventilator asynchrony during assisted mechanical ventilation. - **Intensive Care Medicine**, v. 32, n. 10, p. 1515-1522, 2006.

THOMAS, P. J. - The effect of mechanical ventilator settings during ventilator hyperinflation techniques: a bench-top analysis - **Anaesthesia Intensive Care**, v. 43, n. 1, p. 81-87, 2015.

TURKI, M.; YOUNG, M. P.; WAGERS, S. S.; BATES, J. H. - Peak pressures during manual ventilation. - **Respiratory Care**, v. 50, n. 3, p. 340-344, 2005.

VOLPE, M. S.; ADAMS, A. B.; AMATO, M. B.; MARINI, J. J. - Ventilation patterns influence airway secretion movement. - **Respiratory Care**, v. 53, n. 10, p. 1287-1294, 2008.

WIT, M. - Monitoring of patient-ventilator interaction at the bedside. - **Respiratory Care**, v. 56, n. 1, p. 61-72, 2011.

MANUSCRITO**Selecting the best ventilator hyperinflation technique based on physiologic markers: randomized controlled study**

Beatriz S. Ribeiro, PT, MSc, Rehabilitation Sciences Post Graduation Program, Augusto Motta University Center, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Agnaldo José Lopes, MD, PhD, Rehabilitation Sciences Post Graduation Program, Augusto Motta University Center, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Post-graduate Program in Medical Sciences, State University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

Sara L.S. Menezes, PT, PhD, Rehabilitation Sciences Post Graduation Program, Augusto Motta University Center, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Physical Therapy Department, Federal University of Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Fernando S. Guimarães, PT, PhD, Rehabilitation Sciences Post Graduation Program, Augusto Motta University Center, Rio de Janeiro, RJ, Brazil. Physical Therapy Department, Federal University of Rio de Janeiro, RJ, Brazil.

Beatriz Ribeiro contributed in literature search, data collection and manuscript preparation; Sara Menezes and Agnaldo Lopes contributed in literature search, study design and manuscript preparation; Fernando Guimarães contributed in literature search, data collection, study design, analysis of data, manuscript preparation and review of manuscript.

Locations where the study was performed: Centro Universitário Augusto Motta (Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil) and Hospital Federal de Bonsucesso (Rio de Janeiro, RJ, Brazil).

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

Corresponding author: Fernando Guimarães, PT, PhD, Centro Universitário Augusto Motta, Programa de Pós-Graduação em Ciências da Reabilitação, Praça das Nações, 34, Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. E-mail: fguimaraes_pg@yahoo.com.br

ABSTRACT

Introduction: Ventilator hyperinflation (VHI) has been shown to be effective in improving respiratory mechanics, secretion removal, and gas exchange in mechanically ventilated patients; however, there are no recommendations on the best ventilator settings to perform the technique. Thus, the aim of this study was to compare six modes of VHI, concerning physiological markers of efficacy and safety criteria, in order to support the optimal VHI settings selection for mechanically ventilated patients.

Methods. In a crossover study, every included mechanically ventilated patient underwent six modes of VHI in a randomized order: Volume Control Continuous Mandatory Ventilation (VC-CMV) with inspiratory flow = 20Lpm (VC-CMV20), VC-CMV with inspiratory flow = 50Lpm (VC-CMV50), Pressure Control Continuous Mandatory Ventilation (PC-CMV) with inspiratory time = 1s. (PC-CMV1), PC-CMV with inspiratory time = 3s. (PC-CMV3), Pressure Support Ventilation (PSV) with cycling off = 10% of peak inspiratory flow (PSV10), and PSV with cycling off = 25% of peak inspiratory flow (PSV25). Maximum expansion, expiratory flow bias criteria, overdistension, asynchronies and hemodynamic variables were assessed during the interventions.

Results. The comparison between VHI modes showed that VC-CMV20 was the most effective, followed by PC-CMV3 and PSV10. Mean arterial pressure reduced in VC-CMV20 and VC-CMV50 ($P < 0.05$), with an effect size of 0.62 and 0.51, respectively. The modes PC-CMV3 and PSV10 showed the highest values of alveolar pressure, with 93% of the cases above 30cmH₂O. The modes with more asynchronies were VC-CMV20 and PC-CMV3, whilst in PC-CMV1 and PSV modes there were few cases.

Conclusion. Considering physiological markers of effectiveness, the VHI modes VC-CMV20, PC-CMV3 and PSV10 are the most effective. As VHI techniques are associated to patient-ventilator asynchronies, PSV10 is indicated for patients in assisted mechanical ventilation, whilst VC-CMV20 and PC-CMV3 are indicated for patients in controlled modes. Aiming at reducing the incidence of alveolar overdistension and hemodynamic repercussions, a pressure limit of 35cmH₂O or less should be used, as long as the volume delivered achieve at least 50% above the ideal tidal volume.

Keywords (MeSH): Respiratory Therapy; Physical Therapy Modalities; Ventilators, Mechanical; Critical Care; Respiratory mechanics, Ventilator-Induced Lung Injury;

Introduction

Mechanically ventilated patients are at risk of airway mucus retention due to the presence of endotracheal tube, muscle weakness, drugs, inadequate humidification of respiratory gases, body position, relative immobility of the patient, and underlying diseases affecting pulmonary function^{1,2}.

As secretion retention lead to undesirable adverse effects, a number of airway clearance techniques have been applied with the aim of improving patient-ventilator synchrony and work of breathing, endotracheal tube occlusion, mechanical ventilation weaning, gas exchange, ventilator- associated pneumonia, baro-volutrauma, and mortality³. Among these techniques, manual (MHI) and ventilator hyperinflation (VHI) have been shown to be the most effective physiotherapy techniques in improving respiratory mechanics, secretion removal, and gas exchange in mechanically ventilated patients^{4,5}. Because MHI needs the disconnection of the patient from the ventilator resulting in loss of PEEP, poor control of airway pressure, volume and flow, and lack of accurate control of FIO₂ delivered, VHI has been postulated as a safer method to provide therapeutic hyperinflation⁶⁻⁹. However, although many studies were carried out using different modes and ventilatory parameters to deliver VHI^{7,8,9,10}, there are no recommendations on the best settings to perform the technique. In this way, based on the premise that inspiratory and expiratory airflow have the potential to influence mucus movement, Thomas (2015)¹¹ used three previously described flow bias criteria to compare the efficacy of different modes of VHI: peak inspiratory flow rate (PIFR) less than 90% of the peak expiratory flow rate (PEFR)^{12,13}, achieving a PEFR of at least 40 L/min¹⁴, and having a PEFR to PIFR difference of at least 17 L/min¹⁴. After 232 trials using a bench-top lung model circuit he concluded that volume controlled ventilation (VCV) appears more successful than pressure support ventilation (PSV) and pressure controlled ventilation (PCV) for ventilator hyperinflation. Since lung models provide a simplified representation of

respiratory system, these results point to a direction, but more studies are needed to confirm if they are applicable in clinical settings. Moreover, along to expiratory flow bias, the total volume delivered and the distribution of ventilation are also important physiological parameters to be considered when performing any lung hyperinflation technique^{4,5,15}. Thus, MHI and VHI are generally performed using high tidal volumes and long inspiratory times, which, in turn, may cause patient-ventilator asynchrony, alveolar hyperdistention, hypo or hyperventilation and hemodynamic adverse effects. Therefore, the aim of this study was to compare six modes of VHI, concerning physiological markers of efficacy and safety criteria, in order to support the optimal VHI settings selection for mechanically ventilated patients.

Methods

Study Design and Participants

In a randomized crossover trial, all mechanically ventilated patients admitted to the ICU at a tertiary referral hospital were considered for inclusion. Patients with mucus hypersecretion (defined as the need for suctioning < 2-h intervals), without respiratory drive, with atelectasis, severe bronchospasm, positive end expiratory pressure > 10cmH₂O, PaO₂-FiO₂ relationship < 150, mean arterial pressure < 60mmHg, inotrope requirement equivalent to >15 ml/h total of adrenaline and noradrenalin, and/or intracranial pressure > 20mmHg were excluded from the study¹⁰. Allocation was concealed from the enrolling investigators, and the order of interventions was determined using a computerized randomization system. According to the random order, the participants received 6 modes of VHI. All participants received the interventions on the same day, with a washout interval of at least 15 minutes between them. The washout was considered completed if the hemodynamic variables (PAM and HR) differed less than 10% from the baseline values). During the washout interval, the patients were kept in their baseline ventilatory mode. The project was approved by the institution's

ethics committee and written informed consent was obtained from the subjects' next of kin before the study began.

Interventions

All study patients were ventilated with an iX5 ClearView™ ventilator (Carefusion/Intermed, SP, Brazil). The subjects were positioned in a 30° semi-fowler, supine position and a tracheal suctioning was done before the onset of the experimental protocol. After a stabilization period, baseline variables were recorded in the current ventilatory mode. Then, six VHI modalities were applied: Volume Control Continuous Mandatory Ventilation (VC-CMV) with inspiratory flow = 20Lpm (VC-CMV20), VC-CMV with inspiratory flow = 50Lpm (VC-CMV50), Pressure Control Continuous Mandatory Ventilation (PC-CMV) with inspiratory time = 1s. (PC-CMV1), PC-CMV with inspiratory time = 3s. (PC-CMV3), Pressure Support Ventilation (PSV) with cycling off = 10% of peak inspiratory flow (PSV10), and PSV with cycling off = 25% of peak inspiratory flow (PSV25). In VC-CMV20 and VC-CMV50, the tidal volume was increased in steps of 200mL until the peak airway pressure of 40cmH₂O was achieved¹⁵. In PC-CMV1, PC-CMV3, PSV10 and PSV25, the pressure support or pressure control was increased until the peak pressure of 40cmH₂O was reached^{8,11}. PEEP and FiO₂ were not modified and, in case of need for suctioning, the protocol was interrupted and a new washout period ensued, as described before. Every intervention lasted 15 minutes.

Outcome Measurements

Respiratory mechanics was measured after recording baseline data. By using the interrupter technique, tidal volume, inspiratory flow, plateau and peak pressures were collected from the ventilator display and used to calculate static compliance (C_{st}) and total

resistance (Rrs) of the respiratory system¹⁶. The product of Cst and Rrs was calculated to represent the time constant of the respiratory system (τ_{rs})¹⁷.

The outcome variables were recorded in baseline and at the 10th minute of every intervention. The ventilator hyperinflation effectiveness took in consideration three criteria: 1. flow-bias profile; 2. degree of lung expansion (tidal volume) and 3. distribution of ventilation. Tidal volume, inspiratory and expiratory peak flows were recorded from the ventilator display to calculate these parameters. The following flow-bias criteria were used as physiological markers of mucus transportability: peak inspiratory flow rate (PIFR) less than 90% of the peak expiratory flow rate (PEFR), achieving a PEFR of at least 40 l/min, and having a PEFR to PIFR difference of at least 17 l/min. Lung expansion was considered satisfactory when the volume during VHI was > 50% of the ideal tidal volume¹⁵ (considering the ideal tidal volume as 6mL/kg and 8mL/kg). The time required to adequately distribute the inspiratory volume was estimated using the respiratory system time constant¹⁷. The insufflation time during VHI was considered satisfactory when > 3, 4 or 5 τ_{rs} .

Safety and adverse effects considered hemodynamics (heart rate and mean arterial pressure) and minute ventilation variations, as well as the occurrence of asynchronies and lung hyperdistention. Asynchronies were detected by examining the respiratory signals from the ventilator display^{18,19}, and the patterns were identified by consensus between 2 experienced therapists. Plateau pressure was measured during each VHI modality and alveolar hyperdistention was considered when values > 30¹⁶ or 35cmH₂O²⁰ were observed. For all outcome measures, the mean of at least 3 reliable readings was considered.

Data analysis

Flow-bias, degree of lung expansion, distribution of ventilation, asynchronies and hyperdistention were considered dichotomic according to the thresholds described above. The

number of patients who met the effectiveness criteria in each VHI modality was computed, and the sum of these values was performed to allow comparison between modes.

The continuous variables were represented as mean (SD), and its values were compared using Repeated Measures Analysis of Variance. Tukey's test was used for multiple comparisons and the significance level was set at 5%. The criterion of Cohen was used to interpret the effect size, where a value of 0.2 is considered a small effect, a value of 0.5 is considered a moderate effect, and a value of 0.8 is considered a large effect²¹. The data were analyzed using SigmaStat 3.1 (SYSTAT Software Inc).

Results

From the initially 42 patients assessed for the study, 12 did not meet the inclusion criteria (Figure 1). Data from the 30 participants of the study are shown in Table 1. No clinically relevant adverse events were observed during the experimental protocol and all subjects completed the measurements. Patients presented with a wide range of respiratory mechanics profiles, with static compliance ranging from 23 to 81.8 mL/cmH₂O, and respiratory system resistance from 9.5 to 19.9 cmH₂O/L/s. The median values of Cst and Rrs were 48.6 mL/cmH₂O and 12.4 cmH₂O/L/s, respectively. All patients were under assisted ventilatory modes, and a RASS score ranging from 0 to -4 assured no artifacts neither physiological variations unrelated to the applied interventions. Comparison between the total scores among VHI modes showed that VC-CMV20 was the most effective, followed by PC-CMV3 and PSV10 (Table 2).

When compared to baseline, mean arterial pressure reduced in VC-CMV20 and VC-CMV50 ($P < 0.05$), with an effect size of 0.62 and 0.51, respectively. The modes PC-CMV3 and PSV10 showed the highest values of alveolar pressure, with 93% of the cases above 30cmH₂O. The modes with more asynchronies were VC-CMV20 and PC-CMV3, whilst in

PC-CMV1 and PSV modes there were few cases. In all VHI modes the ventilatory pattern changed, however, the minute ventilation reduced only during PC-CMV3 (effect size = 0.65). The adverse effects and safety results are in Table 3. We summarized the results of this study in a flowchart, aiming at helping the selection of the best ventilatory mode and parameters when applying VHI (Figure 2).

Discussion

In this study, flow, volume and pressure recordings were used as physiological markers of effectiveness and adverse events during different modes of VHI. According to these criteria, the modes VC-CMV20, PC-CMV3 were the most effective, however, they presented greater occurrence of potentially adverse effects. At the other end, PSV25 and PC-CMV1 showed the worst results, but with fewer undesirable repercussions. These results point to the fact that, the theoretical assumptions for VHI effectiveness, i.e., long inspiratory time and high tidal volume ventilation, are associated to hemodynamic and ventilatory hazards. The hyperinflation cycles might result in increased mean airway pressure (MAirP) leading to hemodynamic repercussions, in special when the patients are under controlled modes. Assisted modes, as used in this study, tend to attenuate the MAirP increase, because the respiratory centers determine a reduction in respiratory rate, increasing the interval between high pressure cycles⁸. Nevertheless, our results showed that in VC-CMV modes there was a clinically relevant decrease in MAP, whilst in PC-CMV3 the MAirP was high without any adverse hemodynamic effect. These results suggest that both, MAirP and MAP should be monitored during VHI, in special in more susceptible patients, as those with hypovolemia and/or use of high doses of vasopressors.

The modes VC-CMV20, PC-CMV3 and PSV10 presented with the highest prevalence of alveolar overdistention. It is well known that the ventilation with higher alveolar pressures

and tidal volumes is associated to increased mortality in acute respiratory distress syndrome (ARDS) patients. However, there are increasing evidences that the “biotrauma hypothesis” can also be applied to non-ARDS patients, and that avoiding alveolar overdistention reduce their rate of pulmonary complications and improve the outcomes^{22,23}. The hyperinflation techniques are applied for short periods of time; however, the insufflation volumes are very large (sometimes above 20mL/kg). Since we don’t know in which extent these maneuvers can promote or aggravate the lung injury associated to mechanical ventilation, the adoption of inflation volumes resulting in alveolar pressures lower than 30cmH₂O might be recommended. In this study, an effective pulmonary expansion was considered when the inspiratory volume exceeded 50% of the baseline tidal volume^{6,9,24}, however, the VHI modes followed the principle of inflating the lungs until the peak pressure achieve 40cmH₂O, which is considered the highest pulmonary expansion within a safe pressure limit. Aiming at estimate if lower peak pressures during VC-CMV20 could result in tidal volumes above 50% of the baseline, we introduced the patients’ Cst and Rrs into the equation of motion¹⁶. Considering a peak pressure of 35cmH₂O, only three patients (10%) presented with insufflation volumes below the pulmonary expansion threshold. These patients had low Cst (25, 26 and 30mL/cmH₂O). When the calculations were done for a peak pressure of 30cmH₂O, 17 patients (67%) achieved the criterion. It strongly suggests that, for many patients (in special those with less impaired respiratory mechanics), a peak pressure lower than 40cmH₂O might be used without compromising the VHI effectiveness and with less undesirable effects. In this way, VC-CMV20 with peak pressure of 40cmH₂O could not be a routine prescription for mechanically ventilated patients, but reserved for those with very impaired respiratory mechanics and/or atelectasis. While more studies are necessary to assess if VC-CMV20 with lower peak pressures is effective, the physiotherapists should use the

respiratory signals monitoring to achieve the VHI effectiveness criteria and individualize the therapy.

As expected, the time constant criterion was achieved in modes with longer inspiratory time, that is, VC-CMV20 and PC-CMV3. Once the patients were under assisted modes, a better distribution of ventilation was provided at the expense of flow and phase asynchronies. Since the peak pressure was similar between the different VHI modes, the higher inspiratory volumes achieved in PC-CMV3 and PSV10 can be interpreted as greater volume accommodation, i.e., a better ventilation distribution²⁵. However, these modes have not achieved good ventilation distribution scores, since the criterion used in this study is more appropriate to constant square waveforms. In this way, if the time constant criteria are not considered, the total score of PSV10 is practically the same as VC-CMV20 in table 2, with the advantage of PSV10 being a pressure limited, spontaneous mode, with a low incidence of asynchronies. Therefore, since previous clinical studies showed that VHI with VC-VMC and PSV modes improve secretion removal and respiratory mechanics^{6,8}, VC-CMV20 may be indicated for patients in controlled modes, whilst PSV10 for patients with a preserved respiratory drive.

The fact that the patients were not hypersecretive might be considered a limitation of this study, however the presence of secretions in the airways would precludes the homogeneity of the pre-intervention condition and, thus, the comparison between the VHI modes. Nevertheless, we assessed the effectiveness and adverse effects markers in a large range of respiratory mechanics profiles, bringing insights for clinical practice and new investigations on VHI modalities.

In conclusion, considering the expiratory flow bias thresholds and the maximum tidal volume delivered, the VHI modes VC-CMV20, PC-CMV3 and PSV10 are the most effective. As VHI techniques are associated to patient-ventilator asynchronies, PSV10 is indicated for

patients in assisted mechanical ventilation, whilst VC-CMV20 and PC-CMV3 are indicated for patients in controlled modes. Aiming at reducing the incidence of alveolar overdistension and hemodynamic repercussions, a pressure limit of 35cmH₂O should be used, as long as the volume delivered achieve at least 50% above the ideal tidal volume.

References

1. Li Bassi G. Causes of Secretion Retention: Patient Factors, Ventilation, Devices, Drugs. *Current Respiratory Medicine Reviews* 2014;10(3):143-150.
2. Branson RD, Faarc RRT. Secretion Management in the Mechanically Ventilated Patient. *Respiratory Care* 2007;52(10):1328-1347.
3. Ntoumenopoulos G. Clinical impact of secretion retention. *Current Respiratory Medicine Reviews* 2014;10(3):158-162.
4. 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):103-110.
5. 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. *Critical Care* 2012;16(4): R145.
6. 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):100-108.
7. 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. *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care* 2006;35(5): 334-341.
8. Lemes DA, Zin WA, Guimaraes FS. Hyperinflation using pressure support ventilation improves secretion clearance and respiratory mechanics in ventilated patients with pulmonary infection: a randomised crossover trial. *Aust J Physiother.* 2009;55(4):249-254.
9. Ahmed F, Shafeeq 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. *Heart & Lung: The Journal of Acute and Critical Care*. 2010;39(5):437-443.
10. 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):142-149.
 11. Thomas PJ. The effect of mechanical ventilator settings during ventilator hyperinflation techniques : a bench-top analysis. *Anaesth Intensive Care* 2015;43(1):81-87.
 12. Kim CS, Iglesias J, Sackner M. Mucus clearance by two-phase gas-liquid flow mechanism: asymmetric periodic flow model. *J Appl Physiol*. 1987;62(3):959-971.
 13. Benjamin RC, Gillette A, Chapman CS, Kim MA, Sackner FCCP. Removal of bronchial secretions by two-phase gas-liquid transport. *Chest* 1989;95(3):658-663.
 14. Volpe MS, Adams AB, Amato MBP, Marini JJ. Ventilation patterns influence airway secretion movement. *Respiratory Care* 2008;53(10):1287-1294.
 15. 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. *Physiotherapy Research International* 2002;7(2):100-108.
 16. Hess DR. Respiratory Mechanics in Mechanically Ventilated Patients. *Respiratory Care* 2014;59(11):1773-1794.
 17. Restrepo RD, Serrato DM, Adasme R. Assessing Respiratory System Mechanical Function. *Clin Chest Med*. 2016;37(4):615-632.
 18. Prinianakis G. Bedside waveforms interpretation as a tool to identify patient-ventilator asynchronies. *Intensive Care Medicine* 2006;32(1):34-47.
 19. De Wit M. Monitoring of patient-ventilator interaction at the bedside. *Respiratory Care* 2011;56(1):61-72.
 20. Esteban A, Anzueto A, Frutos F, Alía I, Brochard L, Stewart TE. Characteristics and outcomes in adult patients receiving mechanical ventilation: a 28-day international study. *JAMA* 2002;287(3):345-355.
 21. Cohen J. *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. London: Academic Press 1977; 112(1):155.
 22. Serpa NA, Cardoso SO, Manetta JA. Association between use of lung-protective ventilation with lower tidal volumes and clinical outcomes among patients without acute respiratory distress syndrome: A meta-analysis. *JAMA* 2012;308(16):1651-1659.
 23. Davies JD, Senussi MH, Mireles-Cabodevila E. Should A Tidal Volume of 6 mL/kg Be

- Used in All Patients? *Respiratory Care* 2016;61(6):774-790.
24. Singer M, Vermaat J, Hall G, Latter G PM. Hemodynamic effects of manual hyperinflation in critically ill mechanically ventilated patients. *Chest* 1994;106(4):1182-1187.
 25. Alvarez A, Subirana M BS. Decelerating inspiratory flow waveform improves lung mechanics and gas exchange in patients on intermittent positive-pressure ventilation. *J Crit Care* 1998;13(1):21-25.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os modos VCV 20 e PCV 3 obtiveram os melhores resultados considerando os marcadores fisiológicos utilizados, e isso sugere que são os mais eficazes para HVM. No entanto, estes modos apresentaram maior ocorrência de efeitos adversos. Sendo estes os eleitos na prática clínica, talvez o ideal seja a aplicação em séries de ciclos intercalados com a ventilação corrente do paciente (*baseline*). Evitando a manobra contínua, por mais de 5 minutos ininterruptos. Desta forma, provavelmente os efeitos adversos serão atenuados ou evitados.

Os modos PSV 10 e VCV 50 não atingiram o mesmo potencial no quesito eficácia, porém apresentaram bons resultados, com o benefício de reduzirem os efeitos adversos. Estes modos poderiam ser indicados para uso rotineiro da HVM. O tempo inspiratório no modo VCV 50 não resultou em boa distribuição da ventilação, entretanto conteve a hiperdistensão alveolar. Uma possível solução seria utilizar o modo PSV 10 com P_{pico} limitada em 35 cmH₂O.

Todavia, pesquisas futuras são importantes para avaliar se esta adaptação traz algum prejuízo para os outros marcadores de eficácia da técnica. Além disso, seria interessante investigar se há superioridade entre os critérios conhecidos para o *Flow Bias* expiratório. Estes resultados podem orientar a prática clínica dos fisioterapeutas na escolha do modo mais adequado para HVM, porém se faz necessário avaliar cada paciente de forma individual, para gerar recomendações específicas.

APÊNDICES

APÊNDICE 1 - Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



CENTRO UNIVERSITÁRIO AUGUSTO MOTTA – UNISUAM
PROGRAMA DE MESTRADO EM CIÊNCIAS DA REABILITAÇÃO
TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Resolução nº 466, de 12 de Dezembro de 2012. Conselho Nacional de Saúde.

Convido o (a) Sr (a) a conhecer a pesquisa ANÁLISE FUNCIONAL DOS PERFIS DE PRESSÃO, FLUXO E VOLUME DURANTE A TÉCNICA DE HIPERINSUFLAÇÃO COM VENTILADOR MECÂNICO EM MODOS VENTILATÓRIOS CONVENCIONAIS:

ESTUDO CONTROLADO E RANDOMIZADO. E caso concorde, solicito sua autorização para o paciente sob sua responsabilidade possa participar deste estudo, o qual pretende saber o que acontece dentro dos pulmões do paciente, quando respirando pelo tubo, com ajuda de aparelhos, ao realizamos uma técnica de Fisioterapia chamada Hiperinsuflação com ventilador mecânico. Essa técnica coloca uma quantidade maior de ar para dentro dos pulmões e serve para movimentar a secreção que está lá dentro, tornando mais fácil retirá-la sugada pela aspiração a vácuo. Com essa técnica é possível reabrir as áreas dos pulmões que estavam fechadas pela secreção, melhorando a respiração do paciente internado no Centro de Terapia Intensiva (CTI). A autorização é voluntária e durante a pesquisa o paciente continuará sempre ligado ao aparelho de respiração, sendo feitas apenas mudanças nas configurações deste aparelho para controlar a quantidade de ar que vai entrar nos pulmões. Através de um botão será modificada a maneira como o ar é oferecido para respiração do paciente, e essa mudança será mantida durante alguns minutos. Enquanto isso, na tela do aparelho estará os valores que informam o que acontece dentro do pulmão. A técnica de Hiperinsuflação com ventilador mecânico será feita com seis configurações diferentes no aparelho de respiração, uma de cada vez, para que as seis formas de aplicação da técnica sejam analisadas e comparadas entre si através dos valores que aparecerão na tela do aparelho. Todos os procedimentos estarão sob a responsabilidade de profissionais experientes, contando com apoio de uma equipe multiprofissional caso seja necessário. A aplicação da técnica tem o risco de lesão pulmonar, que será contralado de acordo com o valor máximo de pressão permitida dentro dos pulmões,

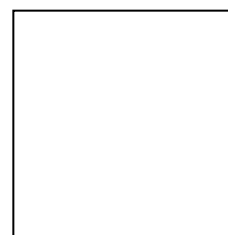
além disso, pode ocorrer agitação e breve desconforto respiratório do paciente, o que será rapidamente identificado e corrigido. Caso ocorra algum dano causado pela sua participação no estudo, haverá devida indenização, conforme determina a Lei. Caso aceite autorizar, terá o benefício de conhecer as características dos pulmões e maior conforto respiratório para o paciente, pela saída da secreção pulmonar. Mesmo depois de autorizar, se o Sr (a) desistir desta autorização, tem o direito e a liberdade de retirar seu consentimento em qualquer momento da pesquisa, seja antes ou depois da coleta dos dados, independente do motivo e sem nenhum prejuízo. O (a) Sr (a) não terá nenhuma despesa e também não receberá nenhuma remuneração. Os resultados da pesquisa serão analisados e publicados, mas sua identidade não será divulgada, sendo guardada em segredo. Para qualquer outra informação, o (a) Sr (a) poderá entrar em contato com a pesquisadora responsável, BEATRIZ DOS SANTOS RIBEIRO no endereço Rua Olímpia Esteves, 111, Bloco 01, apartamento 406, Realengo, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 21775-002, pelo telefone celular (21) 99793-1713, residencial (21) 3159-1923, e e-mail bsr.macr@outlook.com ou poderá entrar em contato com os Comitês de Ética em Pesquisa: CEP/UNISUAM, no endereço Avenida Paris, 72, Bonsucesso, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 21041-020; telefone (21) 3882-9797 (ramal 1015), e-mail: comitedeetica@unisuam.edu.br e CEP/HFB, no endereço Av. Londres, nº 616, Prédio 5 - 5º andar (CEAP), Bonsucesso, Rio de Janeiro/RJ, CEP: 21041-030; telefone: 3977-9833, e-mail: cephgbrj@gmail.com

Consentimento Pós-Informação

Eu, _____, fui informado sobre o que o pesquisador quer fazer e porque precisa da minha autorização, e entendi a explicação. Por isso, eu concordo em autorizar a participação, do paciente sob minha responsabilidade, nesta pesquisa, sabendo que não vou ganhar nada e que posso retirar meu consentimento quando quiser. Este documento é emitido em duas vias que serão ambas assinadas por mim e pelo pesquisador, ficando uma via com cada um de nós.

Assinatura do Responsável Legal pelo Participante

ou



Assinatura do Pesquisador Responsável

Impressão do dedo polegar
caso não saiba assinar

Rio de Janeiro, _____ de _____ de _____.

APÊNDICE 2 - Ficha Clínica

DATA: ____/____/____			
IDENTIFICAÇÃO		SINAIS VENT. (BASELINE)	
NOME		VENTILADOR	
PRONTUÁRIO		FILTRO	
LOCAL		MODO VENTILATÓRIO	
DATA DE NASCIMENTO		VC	
IDADE		PC	
SEXO		PS	
DATA DA INTERNAÇÃO		PEEP	
MOTIVO DA INTERNAÇÃO		FiO2	
DIAGNÓSTICO (CID)		FR VENT.	
DOENÇA PULMONAR		FR TOTAL	
RASS/ECG		VM	
APACHE II		T _{insp.}	
MORTALIDADE (%)		T _{insp.} (PC)	
RX		T _{exp.}	
TEMPO DE VM		FLUXO Insp.	
TOT OU TQT		P _{Finsp.}	
Nº TOT / TQT		P _{Fexp.}	
ALTURA		PMVA	
PESO PREDITO			
VC 6 ML/KG		MECÂNICA VENT.(BASELINE)	
VC 8 ML/KG		PPICO 1	
		PEEP 1	
SINAIS VITAIS (BASELINE)		FLUXO INSP 1	
FC		PPLATÔ 1	
PA		VC 1	
PAM		PPICO 2	
SpO2		PEEP 2	
T°		FLUXO INSP 2	
SEDAÇÃO		PPLATÔ 2	
AMINAS		VC 2	
		PPICO 3	
GASOMETRIA		PEEP 3	
pH		FLUXO INSP 3	
PaCO2		PPLATÔ 3	
PaO2		VC 3	
HCO3		CUFF	
BE		Cst	
SpO2		Rrs	
PaO2/FiO2		FC	
		PA	
		PAM	

APÊNDICE 3 - Ficha de Coleta

VCV (20LPM)				PCV (1s)				PSV (10%)	
VC				VC				VC	
FR				FR				FR	
VM				VM				VM	
Tinsp.				Tinsp.				Tinsp.	
Texp.				Texp.				Texp.	
PFinsp.				PFinsp.				PFinsp.	
PFexp.				PFexp.				PFexp.	
PMVA				PMVA				PMVA	
FC				FC				FC	
PA				PA				PA	
PAM				PAM				PAM	
ETCO2				ETCO2				ETCO2	
Disparo Ineficaz				Disparo Ineficaz				Disparo Ineficaz	
Fase (T neural > T vent)				Fase (T neural > T vent)				Fase (T neural > T vent)	
Fase (T vent > T neural)				Fase (T vent > T neural)				Fase (T vent > T neural)	
Fluxo Insp Insuficiente				Fluxo Insp Insuficiente				Fluxo Insp Insuficiente	
Pplatô				Pplatô				Pplatô	
PEEP				PEEP				PEEP	

VCV (50LPM)				PCV (3s)				PSV (25%)	
VC				VC				VC	
FR				FR				FR	
VM				VM				VM	
Tinsp.				Tinsp.				Tinsp.	
Texp.				Texp.				Texp.	
PFinsp.				PFinsp.				PFinsp.	
PFexp.				PFexp.				PFexp.	
PMVA				PMVA				PMVA	
FC				FC				FC	
PA				PA				PA	
PAM				PAM				PAM	
ETCO2				ETCO2				ETCO2	
Disparo Ineficaz				Disparo Ineficaz				Disparo Ineficaz	
Fase (T neural > T vent)				Fase (T neural > T vent)				Fase (T neural > T vent)	
Fase (T vent > T neural)				Fase (T vent > T neural)				Fase (T vent > T neural)	
Fluxo Insp Insuficiente				Fluxo Insp Insuficiente				Fluxo Insp Insuficiente	
Pplatô				Pplatô				Pplatô	
PEEP				PEEP				PEEP	

APÊNDICE 4 - Table 1

Table 1. Subjects Characteristics

Characteristic	N=30
Age (yr), mean (SD)	61.5 (19.8)
Gender, n males (%)	12 (40)
PaO ₂ /FiO ₂ , mean (SD)	377 (104)
APACHE II, mean (SD)	24.6 (7.2)
Cst,rs, mean (SD)	46.3 (16.7)
Rt,rs, mean (SD)	13.1 (2.6)
Time Constant, mean (SD)	0.61 (0.28)
Diagnosis, n (%)	
Pulmonary disease	6 (20)
Cardiologic disease	7 (23)
Neurological disease	3 (10)
Kidney disease	4 (13)
Hepatic disease	1 (3)
Systemic disease	4 (13)
Neoplasm	6 (20)
Post operative	4 (13)
RASS, score, median (IQ)	-2 (-3 - -1)
GCS, score, median (IQ)	6 (5 - 8)
Ventilatory mode, n (%)	
VC-CMV	2 (7)
PC-CMV	10 (33)
PSV	18 (60)
Predicted body mass, mean (SD)	57.2 (7.8)
Predicted tidal volume (6mL/kg), mean (SD)	343 (47)
Predicted tidal volume (8mL/kg), mean (SD)	457 (62)
PEEP, cmH ₂ O, median (IQ)	8 (1)
FiO ₂ , mean (SD)	32.8 (9.1)
Duration of ventilation, d, mean (SD)	9.3 (9.4)

Cst,rs: static compliance of respiratory system; Rt,rs: total resistance of respiratory system; RASS: Richmond agitation-sedation score; GCS: Glasgow Coma Score; VC-CMV: volume controlled continuous mandatory ventilation; PC-CMV: pressure controlled continuous mandatory ventilation; PEEP: positive end expiratory pressure; FiO₂: fraction of inspired oxygen.

APÊNDICE 5 - Table 2

Table 2 – Number of patients who met every considered physiological criteria for ventilator hyperinflation efficacy (n=30)

	Baseline	VC-CMV20	VC-CMV50	PC-CMV1	PC-CMV3	PSV10	PSV25
Bias flow							
PIF/PEF ≤ 0.9	9	30	30	24	25	28	30
PEF-PIF ≥ 17 lpm	3	30	24	22	21	28	28
PEF > 40 lpm	22	30	30	30	30	30	30
All three meet	0	30	24	22	14	28	28
Tidal volume							
$>50\%$ (6ml/kg)	12	30	30	30	30	30	30
$>50\%$ (8ml/kg)	2	26	26	26	26	30	28
Ventilation distribution							
T _{insp} ≥ 5 TC	0	20	0	0	16	0	0
T _{insp} ≥ 4 TC	1	26	0	0	24	2	0
T _{insp} ≥ 3 TC	6	26	2	4	28	16	6
TOTAL SCORE	55	248	166	158	214	192	120

PIF: peak inspiratory flow, PEF: peak expiratory flow, T_{insp}: inspiratory time, TC: time constant. VC-CMV20: Volume Control Continuous Mandatory Ventilation (VC-CMV) with inspiratory flow = 20Lpm, VC-CMV50: VC-CMV with inspiratory flow = 50Lpm, PC-CMV1: Pressure Control Continuous Mandatory Ventilation (PC-CMV) with inspiratory time = 1s., PC-CMV3: PC-CMV with inspiratory time = 3s., PSV10: Pressure Support Ventilation (PSV) with cycling off = 10% of peak inspiratory flow, PSV25: PSV with cycling off = 25% of peak inspiratory flow. Total score was computed as the sum of patients that reached the criteria in every ventilatory mode.

APÊNDICE 6 - Table 3

Table 3 – Parameters related to the safety of ventilator hyperinflation in different ventilatory modes.

	Baseline	VC- CMV20	VC- CMV50	PC- CMV1	PC- CMV3	PSV10	PSV25
Hemodinamics							
MAP, mmHg, mean (SD)	92.9 (13.1)	84.2 (14.9)*	85.6 (15.2)*	86.2 (14.6)	87.3 (17.3)	89.5 (15.1)	85.8 (20.4)
HR, bpm, mean (SD)	91.7 (19.8)	89.7 (19.3)	88.9 (18.8)	90.6 (18.2)	92.0 (19.7)	90.9 (20.4)	90.9 (18.5)
Pressures (cmH₂O)							
MAirP, mean (SD)	11.0(1.6)	13.1(2.0)*	10.7(1.6)	11.3 (2.2)	15.3(4.3)*	12.3(2.3)	11.7(1.8)
Palv, mean (SD)	18.8(3.9)	30.6(3.7)*	26.9(3.4)	29.1(3.9)*	35.7(2.6)*	34.5(2.2)*	32.9(2.4)*
Palv>30 (n)	0	16	2	10	28	28	26
Palv>35 (n)	0	4	0	0	24	18	4
Patient-ventilator asynchrony (n)							
Trigger	-	0	1	0	0	0	0
Phase (Tn>Tv)	-	0	0	1	0	0	0
Phase (Tv>Tn)	-	6	2	0	18	6	3
Flow	-	20	10	0	0	0	0
Ventilation							
RR, bpm, mean (SD)	17.9(5.2)	7.0(2.8)*	8.4(3.3)*	8.1(3.0)*	6.0(2.2)*	8.4(3.9)*	7.6(3.3)*
Vt, mL, mean (SD)	490 (91)	1186 (437)*	996 (355)*	966 (244)*	1291 (478)*	1223 (464)*	1219 (447)*
VE, L, mean (SD)	8.7(2.9)	7.5(2.1)	7.5(2.1)	7.4(2.3)	7.1(1.9)*	9.2(3.2)	8.3(2.5)

MAP: mean arterial pressure, HR: heart rate, MAirP: mean airway pressure, Palv: alveolar pressure, DP: driving pressure, Tn: neural time, Tv: ventilator time, RR: respiratory rate, Vt: tidal volume, VE: minute ventilation. * Significantly different from baseline (P<0.05). VC-CMV20: Volume Control Continuous Mandatory Ventilation (VC-CMV) with inspiratory flow = 20Lpm, VC-CMV50: VC-CMV with inspiratory flow = 50Lpm, PC-CMV1: Pressure Control Continuous Mandatory Ventilation (PC-CMV) with inspiratory time = 1s., PC-CMV3: PC-CMV with inspiratory time = 3s., PSV10: Pressure Support Ventilation (PSV) with cycling off = 10% of peak inspiratory flow, PSV25: PSV with cycling off = 25% of peak inspiratory flow.

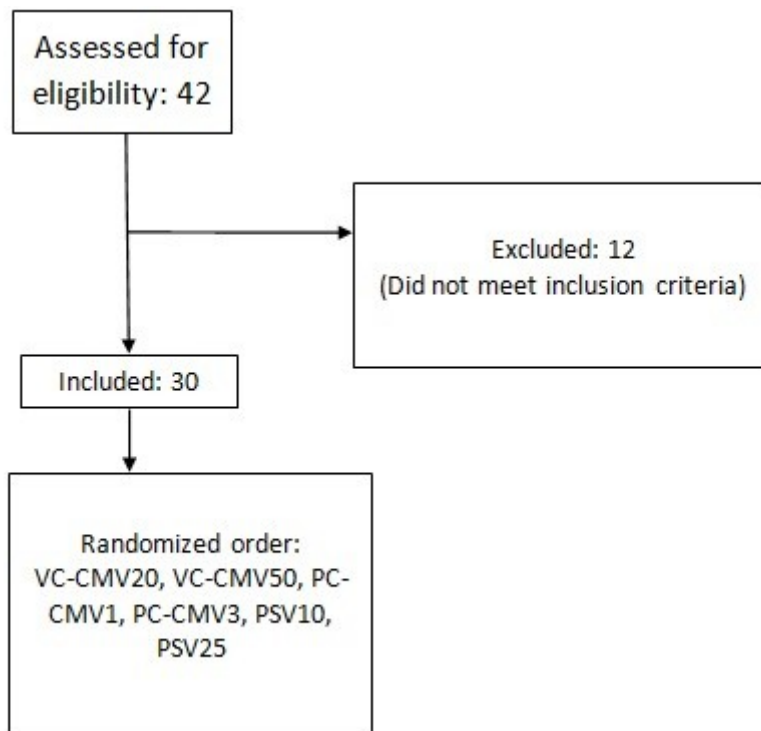
APÊNDICE 7 - Figure 1

Figure 1 – Proposed framework to show the research protocol flow about eligibility.

APÊNDICE 8 - Figure 2

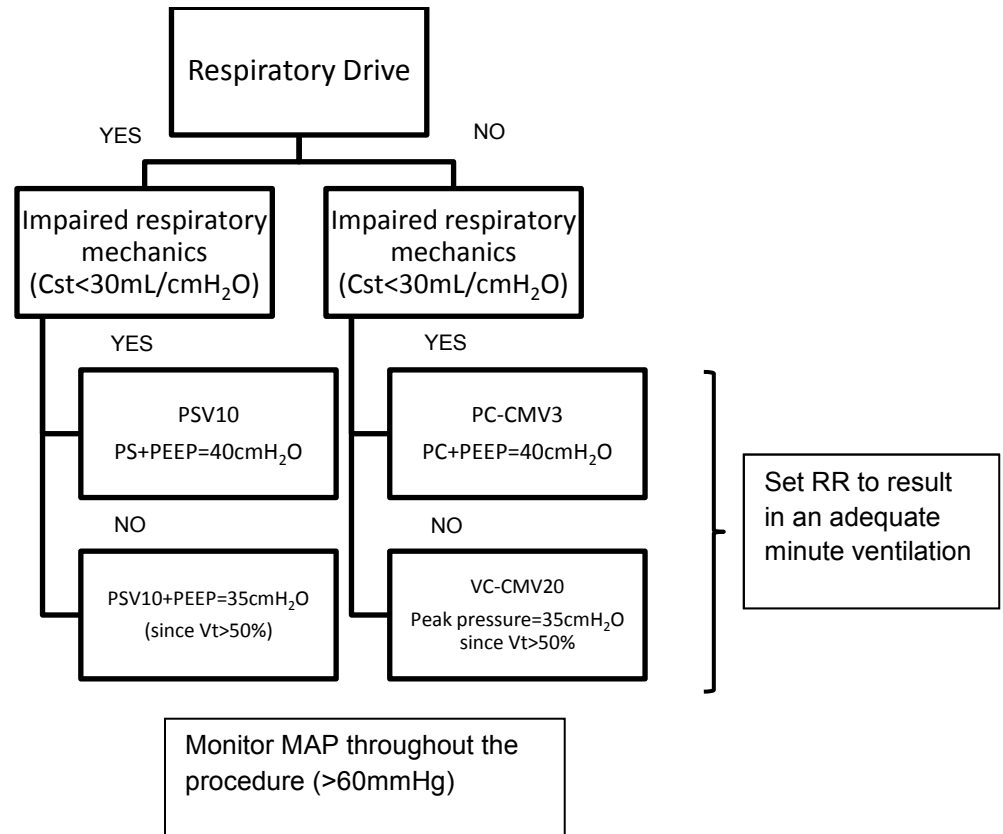


Figure 2 – Proposed framework to set ventilator hyperinflation based on the results of the present study. Pressure support ventilation (PSV10= Pressure Support Ventilation with cycling off = 10% of peak inspiratory flow) is preferred for patients with respiratory drive, while continuous mandatory modes (PC-CMV3=Volume Control Continuous Mandatory Ventilation, VC-CMV20= Pressure Control Continuous Mandatory Ventilation) are indicated for patients in machine triggered ventilation. Modes with decelerated flow (PSV10 and PC-CMV) reaching a peak pressure of 40cmH₂O are indicated for patients with compliance lower than 30mL/cmH₂O, while a peak pressure of 35cmH₂O is the limit for patients presenting without severe mechanical abnormalities. In continuous mandatory ventilation, respiratory rate (RR) should be set aiming at providing an adequate minute ventilation. Mean arterial pressure (MAP) must be monitored during any VHI modality.

ANEXOS

ANEXO 1 - *Richmond Agitation Sedation Scale (RASS)*

Escore	Termos	Descrição
+ 4	Combativo	Francamente combativo, violento, levando a perigo imediato da equipe de saúde
+ 3	Muito agitado	Agressivo, pode puxar tubos e cateteres
+ 2	Agitado	Movimentos não-intencionais freqüentes, briga com o respirador (se estiver em ventilação mecânica)
+ 1	Inquieto	Ansioso, inquieto, mas não agressivo
0	Alerta e calmo	
- 1	Torporoso	Não completamente alerta, mas mantém olhos abertos e contato ocular ao estímulo verbal por ≥ 10 seg
- 2	Sedado leve	Acorda rapidamente, e mantém contato ocular ao estímulo verbal por < 10 seg
- 3	Sedado moderado	Movimento ou abertura dos olhos, mas sem contato ocular com o examinador
- 4	Sedado profundamente	Sem resposta ao estímulo verbal, mas tem movimentos ou abertura ocular ao estímulo tátil / físico
- 5	Coma	Sem resposta aos estímulos verbais ou exame físico

Fonte: SESSLER, C. N. *et al.* - The Richmond Agitation–Sedation Scale: validity and reliability in adult intensive care unit patients. - **American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine**, v. 166, n. 10, p. 1338-1344, 2002.

ANEXO 2 - Escala de Coma de Glasgow (ECG)

<i>Anexo 1 - Escala de Coma de Glasgow</i>		
	Variáveis	Escore
Abertura ocular	Espontânea	4
	À voz (comando verbal)	3
	À dor	2
	Ausente	1
	Não testável (NT) – Em pacientes com edema ou hematoma que impossibilita a abertura dos olhos	
Melhor resposta verbal	Orientado	5
	Confuso	4
	Palavras inapropriadas	3
	Palavras ou sons	2
	Incompreensivos	1
	Sem resposta	
	Não testável (NT) – Em pacientes intubados	
Resposta motora	Obedece a comandos	6
	Localiza dor	5
	Movimento de retirada à dor	4
	Flexão anormal	3
	Extensão anormal	2
	Nenhuma resposta	1

Fonte: OLIVEIRA, D. M. P.; PEREIRA, C. U.; FREITAS, Z. M. P. - Escalas para avaliação do nível de consciência em trauma cranioencefálico e sua relevância para a prática de enfermagem em neurocirurgia. - **Brazilian Neurosurgery**, v. 33, n. 1, p. 22-32, 2014.

ANEXO 3 - Acute Physiology and Chronic Health Evaluation (APACHE II)

Variáveis fisiológicas	+4	+3	+2	+1	0	+1	+2	+3	+4
Temperatura retal (°C)	> 41	39-40,9		38,5-38,9	36-38,4	34-35,9	32-33,9	30-31,9	< 29,9
Pressão arterial média mmHg	> 160	139-159	110-129		70-109		50-69		< 40
Frequência cardíaca bpm	> 180	140-179	110-139		70-109	55-69	40-54	< 39	
Frequência respiratória irpm (ventilados ou não)	> 50	35-49	25-34	12-24	10-11	6-9		< 5	
Oxigenação A-aDO ₂									
a) FiO ₂ > 0,5 A-aDO ₂	> 500	350-499	200-349		< 200				
b) FiO ₂ < 0,5 PaO ₂					> 70	61-70		55-60	< 55
pH Arterial	> 7,7	7,6-7,69		7,5-7,59	7,33-7,49		7,25-7,32	7,15-7,24	< 7,15
Sódio sérico (mEq/L)	> 180	160-179	155-159	150-154	130-149		120-129	111-119	< 110
Potássio sérico (mEq/L)	> 7	6-6,9		5,5-5,9	3,5-5,4	3-3,4	2,5-2,9		< 2,5
Creatinina sérica (mg/dL) dobrar pontos se IRA	> 3,5	2-3,4	1,5-1,9		0,6-1,4		< 0,6		
Hematócrito (%)	> 60		50-50,9	46-49,9	30-45,9		20-29,9		< 20
Número de leucócitos	> 40		20-39,9	15-19,9	3-14,9		1-2,9		< 1
Escala de Glasgow para o coma Escore = (15-escore atual)									
Total do escore fisiológico agudo									
Bicarbonato sérico (mEq/L) (usar se não coletar gasometria)	> 52	41-51,9		32-40,9	22-31,9		18-21,9	15-17,9	< 15

b) PONTOS PARA A IDADE					
Pontos	0	2	3	5	6
idade (anos)	< 44	45-54	55-64	65-74	> 75

c) PONTOS PARA DOENÇA CRÔNICA					
Se o paciente tem uma história de insuficiência grave de órgãos ou é imunocomprometido; assinale pontos como se segue:					
a) Para pacientes não-cirúrgicos ou pós-operatórios de emergência: 5 pontos					
b) Para pacientes de pós-operatórios eletivos: 2 pontos					

Fonte: CARDOSO, L. G. S.; CHIAVONE, P. A. - APACHE II medido na saída dos pacientes da Unidade de Terapia Intensiva na previsão da mortalidade. - **Revista Latino-Americana de Enfermagem**, v. 21, n. 3, p. 811-819, 2013.