https://doi.org/10.4322/2357-9730.80529

Insuflação de gás traqueal como recurso terapêutico em ventilação mecânica invasiva: revisão sistemática

Tracheal gas insufflation as a therapeutic resource in invasive mechanical ventilation: a systematic review

Renata Monteiro Weigert[1], Maira Tonieto[2], Priscila Rama[3], Ivens Willians Silva Giacomassi[4], Luiz Alberto Forgiarini Junior[5,6]

RESUMO

Introdução: A unidade de terapia intensiva, pacientes que apresentam um grave comprometimento pulmonar, com alterações nos valores fisiológicos de complacência pulmonar, acabam desenvolvendo uma limitação relacionada a volumes pulmonares. Um dos problemas resultantes é a hipercapnia. Para ajudar a reduzir essas alterações, pode-se usar técnicas como a insuflação de gás traqueal (TGI), que atua minimizando o estresse pulmonar, melhorando as trocas gasosas e reduzindo o volume minuto ventilatório e a pressão. Assim, o objetivo deste estudo foi analisar e descrever o uso de TGI e a sua eficácia na redução da hipercapnia e nos parâmetros da ventilação mecânica invasiva de pacientes críticos.

Métodos: Foi realizada uma revisão sistemática da literatura com busca nas bases de dados do SciELO, LILACS, PubMed e MEDLINE, com publicações de 2005 a 2016. Foram identificados um total de 1.437 artigos. Os critérios de elegibilidade foram a utilização do método de TGI isolado ou combinado a outros recursos e a inclusão de desfechos da sua efetividade em amostras experimentais ou humanas que mostravam lesão pulmonar e/ou outras alterações pulmonares, entre elas a hipercapnia.

Resultados: Após a leitura e análise criteriosa dos artigos, 10 estudos foram incluídos nesta revisão. Eles abordavam a eficácia dos métodos de TGI na redução dos níveis de CO_2 e as condições para a diminuição dos parâmetros da ventilação mecânica e melhora da mecânica ventilatória.

Conclusão: Os estudos incluídos na presente revisão sugerem que a TGI pode ser uma técnica eficaz quando realizada em complicações pulmonares nos pacientes hipercápnicos com lesão pulmonar. Entretanto, são estudos distintos e controversos, o que compromete a análise dos resultados obtidos para total eficácia do recurso terapêutico.

Palavras-chave: *Lesão pulmonar; hipercapnia; fisioterapia*

ABSTRACT

Introduction: At intensive care units, patients presenting with severe pulmonary involvement, with changes in the physiological values of pulmonary compliance, develop a limitation related to pulmonary volumes, resulting in some cases in hypercapnia. In order to help decreasing these alterations, some techniques may be used such as tracheal gas insufflation (TGI), which acts minimizing pulmonary stress, improving gas exchanges and decreasing respiratory minute volume and pressure. Thus, this study aimed to analyze and to describe TGI use and efficacy in reducing hypercapnia and parameters of invasive mechanical ventilation of critically ill patients.

Methods: For this systematic review, we searched SciELO, LILACS, PubMed and MEDLINE databases for articles published from 2005 to 2016. A total of 1,437 articles were found. The eligibility criteria were the use of TGI alone or together with other resources and the evaluation of its effectiveness in experimental or human samples that showed lung injury and/or other pulmonary abnormalities, including hypercapnia.

Clin Biomed Res. 2018;38(2):167-177

1 Hospital Tacchini. Bento Gonçalves, RS, Brasil.

2 Programa de Pós-graduação em Terapia Intensiva, Faculdade Inspirar Porto Alegre. Porto Alegre, RS, Brasil.

3 Hospital Pompéia. Caxias do Sul, RS, Brasil.

4 Hospital Universitário, Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, SP, Brasil.

5 Curso de Fisioterapia, Programa de Pós-graduação em Reabilitação e Inclusão, Centro Universitário Metodista (IPA). Porto Alegre, RS, Brasil.

6 Curso de Fisioterapia, Programa de Pós-graduação em Biociências e Reabilitação, Centro Universitário Metodista (IPA). Porto Alegre, RS, Brasil.

Autor correspondente:
Luiz Alberto Forgiarini Junior
forgiarini.luiz@gmail.com
Centro Universitário Metodista (IPA)
Rua Coronel Joaquim Pedro Salgado, 80.
90420-060, Porto Alegre, RS, Brasil.

CC BY

Results: After careful reading and analysis of the articles, 10 studies were included in this review. They addressed the effectiveness of TGI methods in reducing levels of CO_2 levels and conditions to decrease parameters of mechanical ventilation and to improve ventilation mechanics.

Conclusion: The studies included in the present review suggest that TGI may be an efficient technique when applied to pulmonary complications of patients suffering from hypercapnia with pulmonary lesions. However, the studies are different and controversial, which compromises the analysis of the results obtained for total efficacy of the therapeutic resource.

Keywords: *Pulmonary lesion; hypercapnia; physical therapy*

A hipercapnia é definida pela presença de níveis excessivos de gás carbônico (CO_2) no sangue arterial, superiores a 45 mmHg, o que decorre de uma ventilação pulmonar insuficiente do paciente. Essa alteração costuma ocorrer em diversas doenças pulmonares que acometem pacientes críticos, principalmente os diagnosticados com síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA), que necessitam de ventilação mecânica protetora[1,2].

Os pacientes admitidos em unidade de terapia intensiva (UTI) que apresentam em seu caso clínico um grave comprometimento pulmonar com alteração nos valores fisiológicos da complacência pulmonar acabam gerando uma limitação do pico de pressão. Isso implica na diminuição do volume corrente (VC), resultando na hipercapnia e, consequentemente, em valores alterados no resultado do exame laboratorial de gasometria arterial. A lesão pulmonar aumenta a ventilação do espaço morto, e a ventilação protetora se associa à diminuição da ventilação alveolar. Entretanto, ambos os fatores resultam em uma eliminação ineficaz do CO_2 sanguíneo[1,3].

As consequências da retenção aguda do CO_2 estão relacionadas ao pH intracelular, podendo resultar em disfunções do sistema nervoso central (SNC), hipertensão intracraniana (HIC), fraqueza neuromuscular, alterações cardiovasculares e respiratórias, entre outras. Portanto, a hipercapnia é responsável por danos orgânicos complicados, os quais podem representar um elevado risco em alguns contextos clínicos específicos dos pacientes. Algumas técnicas fisioterapêuticas podem ser aplicadas a fim de reduzir os níveis de CO_2 no sangue, sendo uma delas a insuflação de gás traqueal (TGI)[4,5].

A TGI consiste na insuflação de gás fresco através das vias aéreas para aumentar a eficiência da ventilação alveolar e/ou minimizar a necessidade dos ajustes de altas pressões ventilatórias na ventilação mecânica invasiva (VMI). O método é realizado através do posicionamento de um cateter projetado no interior do tubo orotraqueal (TOT), sendo que a extremidade é posicionada a 1 cm da carina e o fluxo fica aberto entre 1 a 5 L/min. A técnica pode ser realizada em pacientes ventilados em modo ventilatório com pressão controlada (PCV) ou ventilação de volume controlado (VCV)[2,3,6-8]. As formas de aplicação da TGI podem ser classificadas em contínua, inspiratória e expiratória total. O diâmetro do cateter não influencia a eficácia da TGI em reduzir o CO_2, não interferindo e não promovendo alterações significativas no volume corrente e nas variáveis de pressão. A partir desse princípio, tem-se preconizado a utilização de cateteres com diâmetro interno variando entre 1,1 e 3 mm para a aplicação do método. O fluxo pode ser utilizado no máximo até 15 L/min, sendo os valores de referência de 2 a 15 L/min[9,10].

A TGI tem como objetivo minimizar o estresse pulmonar, melhorando as trocas gasosas e reduzindo o volume corrente ventilatório e a pressão. Também melhora o índice volume/minuto, ajudando assim a reduzir a lesão pulmonar induzida pelo ventilador sem a exigência de elevadas pressões ventilatórias, propiciando uma recuperação mais rápida e a eficácia do tratamento[2,11-13].

Existem dois mecanismos principais responsáveis pela redução do CO_2 durante a aplicação da TGI: o proximal, no qual o gás fresco é introduzido próximo à carina, deslocando o gás contido no espaço morto anatômico proximal até a extremidade do cateter no final da expiração; e o distal, no qual a turbulência gerada pelo jato na extremidade do cateter pode elevar a mistura gasosa em regiões distais ao orifício, aumentando ainda mais a eliminação de CO_2. Ambos mecanismos provocam a diminuição do espaço morto através do seu preenchimento com fluxo turbulento de gás na traqueia durante todo o ciclo ventilatório, promovendo e facilitando a troca gasosa adequada. A configuração do sistema de liberação mantido na TGI, com pressões inspiratórias e expiratórias constantes, ocorre porque a válvula de exalação foi ativada durante a fase de inspiração, e o fluxo da TGI foi dirigido para a abertura da via aérea[9,14-17].

A avaliação para escolha da utilização da técnica de TGI deve ser direcionada a casos específicos e aplicada corretamente para diferenciar a TGI de todas as demais formas convencionais de manobras com VMI. Assim, é possível chegar efetivamente a resultados satisfatórios para os pacientes com hipercapnia. Nas bases de dados, existem poucos artigos atuais publicados sobre TGI. Portanto, esta revisão de literatura tem por objetivo produzir um estudo exploratório e analítico. A questão da pesquisa foi analisar e descrever o uso de TGI e a sua eficácia na redução da hipercapnia e nos parâmetros da VMI de pacientes críticos. Tem-se em vista a possibilidade de ser mais um recurso terapêutico a ser utilizado

convencional e rotineiramente pelos profissionais nas UTIs, a fim de que se obtenham resultados significativos para desfechos clínicos de sucesso no tratamento de pacientes críticos com lesão pulmonar.

MÉTODOS

Trata-se de uma revisão sistemática da literatura realizada de acordo com as *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses.* Para pesquisar nas bases de dados do SciELO, LILACS, PubMed e MEDLINE, foi utilizada uma estratégia de busca sistemática por meio dos termos indexados *tracheal AND gas AND insufflation* em combinação individual com os seguintes termos*: hypercapnia, mechanical ventilation* e *gas exchange*. A pesquisa foi iniciada em 2 de julho de 2016 e concluída em 31 agosto de 2016. Foram incluídas publicações restritas ao período de 1 de janeiro de 2005 a 31 de julho de 2016.

Os títulos e resumos foram avaliados através da elegibilidade conforme os objetivos específicos desta revisão. O texto completo dos artigos foi obtido quando o resumo continha informações insuficientes. Foram selecionados artigos escritos em português e inglês. Após o levantamento, foi realizada a análise dos dados e discussão dos artigos selecionados. A análise dos artigos foi realizada por duas avaliadoras graduadas, com experiência na área de fisioterapia em terapia intensiva.

A revisão sistemática respondeu a uma pergunta específica e utilizou métodos sistemáticos de estudos para identificar, selecionar e avaliar criteriosamente um conjunto de publicações e, assim, produzir e descrever um estudo de revisão analítico. Os critérios de elegibilidade dos artigos selecionados vieram de acordo com amostras, sendo elas experimentais ou humanas. Os artigos deveriam apresentar a possível efetividade da aplicação do método de TGI, sendo este associado ou não a outros recursos. Os desfechos dos estudos apresentavam resultados distintos quanto à redução da hipercapnia, porém continham os dados para analisar e comparar a melhora ou não da ventilação pulmonar na população avaliada. Assim, puderam ser descritos neste artigo sistemático.

RESULTADOS

Seleção dos Estudos

Foram identificados 1.437 artigos nas bases de dados. Destes, após eliminar as duplicatas, restaram 1.388 artigos, sendo 1.166 excluídos por terem sido publicados fora do período de 12 anos estipulado para esta revisão. Do restante, 30 artigos foram excluídos por não estarem disponíveis gratuitamente *online*, 178 foram excluídos após a leitura do título e resumo e quatro foram excluídos por não atenderem aos demais critérios de inclusão (Figura 1). Não houve distinção quanto ao número de artigos selecionados, e 10 artigos foram incluídos nesta revisão.

Características dos Estudos Incluídos

A maioria dos 10 estudos foram realizados com amostra experimental (coelhos e cães). Apenas quatro estudos investigaram seres humanos, com amostra de pacientes com lesão pulmonar grave e/ou SDRA. Esses estudos abordavam a eficácia do método de TGI utilizado na redução dos níveis de CO_2 e as condições para a diminuição dos parâmetros da VMI e melhora da mecânica ventilatória. Os estudos abordavam a TGI em comparação com outras técnicas, os efeitos da TGI em pacientes com lesão pulmonar e a efetividade da técnica para a redução de pressões e volumes na VMI.

Tempo de Seguimento

O tempo de seguimento dos estudos foi de curto prazo, variando de dias a semanas. As características das amostras para os estudos incluídos nesta revisão estão apresentadas no Quadro 1.

Risco de Viés nos Estudos Incluídos

Nenhum estudo foi excluído desta revisão baseado no risco de viés avaliado.

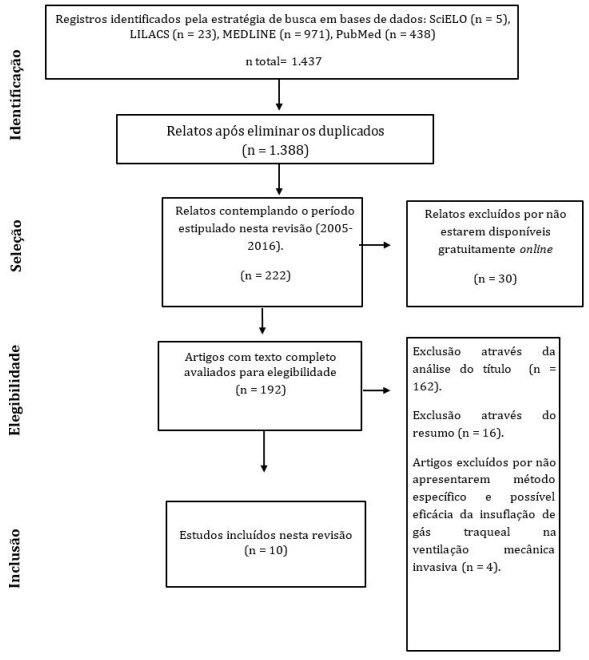

Figure 1: Fluxograma da seleção dos artigos de acordo com os critérios de inclusão e exclusão.

Quadro 1: Estudos clínicos analisando a utilização e a eficácia da insuflação de gás traqueal (TGI).

AUTOR	AMOSTRA (N)/ CARACTERÍSTICAS	OBJETIVO	INTERVENÇÃO	CONCLUSÃO
Hota et al.[21]	Pulmão teste.	Investigar a modulação da depuração de CO_2 por alterações na duração da aplicação do fluxo de gás traqueal durante a TGI.	As experiências foram realizadas em um pulmão teste em duas combinações de volume corrente e frequência. A TGI foi limitada a uma parte da fase expiratória e duas taxas de fluxo no cateter da TGI. Foram coletados dados sobre as alterações superiores ao alcance da complacência, volume do espaço morto, fluxo do cateter e duração da TGI.	A duração do fluxo expiratório da TGI é estável ao longo de uma vasta gama de características de impedância. Sugere-se que a estabilidade máxima do efeito da TGI poderia ser obtida através da aplicação de fluxo de TGI exclusivamente no final de 50% da fase expiratória. Tal restrição da aplicação pode simplificar a implementação da técnica e diminuir as consequências adversas.
Oliver et al.[25]	Experimento animal: 12 coelhos.	Usar marcadores fisiológicos, histológicos e bioquímicos para testar a hipótese de que a TGI pode ser um importante tratamento para a ventilação de proteção pulmonar.	Os coelhos foram anestesiados, imobilizados e ventilados com FiO_2 100%. Foram induzidos a lesão pulmonar com lavagem de solução salina (10 mL/kg por lavagem até $PaCO_2$ < 150 mmHg e a conformidade < 0,50 ml/ cm H_2O/kg durante 30 minutos). Os animais foram randomizados para ventilação mecânica convencional com e sem TGI contínua a 0,5 L/min durante 4 horas para manter $PaCO_2$ a 45-55 mmHg. Ajustou-se o pico de pressão inspiratória, e as outras configurações da ventilação mecânica não foram alteradas.	A TGI resultou em um menor pico de pressão inspiratória, volume corrente e espaço morto e uma tendência histológica mais favorável do que a ventilação mecânica convencional. Assim, a TGI oferece uma boa estratégia para proteção no caso de uma lesão pulmonar aguda.
Guo et al.[20]	24 leitões (4-6 kg, 4-6 semanas, ambos os sexos).	Avaliar se uma combinação contínua de TGI como estratégia de proteção de ventilação limitada a pressão (PLV) pode melhorar a função cardiopulmonar na lesão pulmonar aguda.	Após a indução da lesão pulmonar, os animais foram divididos aleatoriamente em quatro grupos: (1) Controle (ventilação mecânica); (2) PLV; (3) TGI; (4) Combinação de PLV e TGI. As variáveis experimentais foram avaliadas durante 4 horas após a lesão pulmonar. Em seguida, os animais foram sacrificados e dissecados para avaliar sete aspectos (edema, inflamação alveolar e intersticial, hemorragia alveolar e intersticial, atelectasias e necrose) e foram pontuados de acordo com o escore de lesão pulmonar.	Todos os grupos exceto o controle melhoraram pH, PaO_2/FiO_2, $PaCO_2$, índice de eficácia de ventilação e volume corrente. Ambos os grupos associados ao PLV melhoraram FR, FC, débito cardíaco, resistência vascular sistêmica, complacência pulmonar dinâmica, resistência de vias aéreas e pressão média de vias aéreas. O grupo que combinou PLV e TGI resultou ainda em maior PaO_2/FiO_2, índice de eficácia de ventilação e melhor pontuação na histologia do pulmão do que os demais tratamentos.

Quadro 1: Continuação...

AUTOR	AMOSTRA (N)/ CARACTERÍSTICAS	OBJETIVO	INTERVENÇÃO	CONCLUSÃO
Ortiz et al.[27]	11 pacientes, 18 a 60 anos, ASA I ou II, não pneumopatas.	Avaliar as alterações proporcionadas pela TGI sobre a capnografia em pacientes anestesiados.	Após a intubação traqueal, foi inserido cateter para TGI a 2 ou 3 cm da carina. Os pacientes foram submetidos a ventilação controlada ao volume. Registrou-se a curva de capnografia volumétrica durante 20 minutos e colheu-se amostra sanguínea para medir $PaCO_2$. Após 20 minutos de TGI, registrou-se a curva de capnografia e foi colhida nova amostra sanguínea para medir $PaCO_2$. Avaliou-se pressão parcial de CO_2 no fim da expiração ($P_{ET}CO_2$) e $PaCO_2$, antes e após a TGI. Observou-se a curva de capnografia antes e durante a TGI.	A aplicação da TGI não resultou em diminuição da $PaCO_2$ nem da $P_{ET}CO_2$, porém foi capaz de alterar a capnografia dos pacientes avaliados.
Guo et al. [19]	Doze leitões (4-6 kg, 4-6 semanas).	Testar a hipótese de que a TGI, durante a VMI, atuaria como uma estratégia de proteção para evitar lesões associadas à VMI, compensar problemas difusionais e remover o CO_2.	Os leitões, após anestesiados, foram divididos em 2 grupos (n = 6, cada grupo) (1) Ventilação mecânica; (2) Ventilação mecânica com TGI contínua em vias aéreas com fluxo de 2 L/min. As variáveis do experimento foram registradas e avaliadas a cada 30 minutos durante 4 horas após a lesão pulmonar inicial. Após, os animais foram sacrificados e dissecados e foram avaliados de acordo com o escore de lesão pulmonar.	O método que combina TGI e VM teve maior eficácia para a melhora da troca gasosa e função pulmonar, pois obteve melhores resultados quanto ao volume expiratório, índice de eficácia da ventilação, $PaCO_2$, pressão de resistência das vias aéreas, PaO_2, PaO_2/FiO_2 e histologia do pulmão, na comparação com o grupo que utilizou somente VMI.
Baba et al.[26]	Três coelhos.	Comparar os efeitos da TGI na troca gasosa usando uma mistura de hélio e oxigênio e outra de nitrogênio e oxigênio em um modelo de coelho durante a ventilação de alta frequência.	Os coelhos foram preparados e ventilados por ventilação de alta frequência com suporte de 70% de hélio e oxigênio ou 70% de nitrogênio e oxigênio com TGI em um estudo cruzado. Os testes foram realizados três vezes por animal alterando a mistura de gases, com parâmetros de ventilação constantes.	Em comparação com a mistura de nitrogênio e oxigênio, a mistura de hélio e oxigênio com TGI reduziu a $PaCO_2$ e aumentou a PaO_2. A amplitude durante a TGI foi significantemente menor com a mistura de hélio e oxigênio quando comparada à mistura de nitrogênio e oxigênio e não significantemente quanto à pressão das vias aéreas.

Quadro 1: Continuação...

AUTOR	AMOSTRA (N)/ CARACTERÍSTICAS	OBJETIVO	INTERVENÇÃO	CONCLUSÃO
Mentzelopoulos et al.[18]	22 pacientes com lesão pulmonar aguda precoce.	Comparar se o padrão de oscilação de alta frequência e a oscilação de alta frequência combinada com a TGI afetam as trocas gasosas de forma independente a partir da pressão traqueal em pacientes com SDRA.	Dia 1: Os pacientes foram ventilados com oscilação de alta frequência por 60 minutos e combinada com a TGI por 60 minutos em ordem aleatória. Sessões de oscilação de alta frequência/oscilação de alta frequência com TGI foram repetidas em ordem inversa no prazo de 7 horas. Após, foi titulada a pressão média das vias aéreas a uma pressão traqueal maior ou igual a 3 cmH_2O comparada com a ventilação mecânica convencional anterior. Dia 2: O protocolo foi repetido no nível de pressão traqueal em relação ao dia 1.	A oscilação de alta frequência combinada com a TGI mostrou-se superior com relação às trocas gasosas se comparada com a oscilação de alta frequência sozinha.
Pinsky et al.[24]	Sete cães.	Comparar a eficiência da troca gasosa (avaliada através da análise de gases expirados para o espaço morto) e a hiperinsuflação (medida como um aumento na pressão pleural) durante Bi-TGI e Uni-TGI.	Os animais foram anestesiados e colocados em decúbito dorsal em suporte ventilatório mecânico usando um ventilador Puritan Bennet-7200 (Nellcor Puritan Bennet, Pleasanton, EUA) com V_T a 8-10 mL/kg. Foram medidos sangue arterial e gases venoso e misto, analisados no final de cada etapa de CO expirado, uma vez misturado.	A TGI aumentou a eficiência da troca gasosa neste modelo canino com lesão aguda e quando avaliado por mudanças na P_{aCO2} para uma constante V_E. Conclui-se que este novo sistema de compensação de fluxo permite a entrega de TGI sem a necessidade de ajustes nas configurações do ventilador. Além disso, a Bi-TGI produz menos hiperinsuflação do que a Uni-TGI, mesmo com pequenos tubos de diâmetro endotraqueal.
Vrettou et al.[23]	13 pacientes com traumatismo cranioencefálico (TCE) + síndrome do desconforto respiratório agudo (SDRA).	Avaliar o efeito de HFO-TGI na PaO_2/FiO_2 e $PaCO_2$, hemodinâmica sistêmica, pressão intracraniana (PIC) e pressão de perfusão cerebral (PPC) em pacientes com TCE e SDRA grave simultâneos.	Os pacientes foram anestesiados, e a ventilação com volumes moderados a alta CMV-corrente para controle da PIC. Os doentes tinham PaO_2/FiO_2 < 100 mmHg no final da expiração e ≥ 10 de pressão cmH_2O. Os pacientes receberam, diariamente, sessões de resgate de 12 horas de HFO-TGI intercalados com períodos de 12 horas de CMV. Foram coletados sangue arterial e venoso, controlado a hemodinâmica, foram registradas, a cada 4 horas, e depois de HFO-TGI; foram analisados por meio de medidas repetidas análise de variância da mecânica ventilatória onde foram avaliadas antes e após HFO-TGI.	Em pacientes com TCE e SDRA, a HFO-TGI pode melhorar a oxigenação e a mecânica respiratória, sem afetar negativamente $PaCO_2$, e a hemodinâmica dos pacientes. Os resultados apoiam a utilização de HFO-TGI como uma estratégia ventilatória de resgaste em paciente com insuficiência de oxigenação devido à SDRA grave.

Quadro 1: Continuação...

AUTOR	AMOSTRA (N)/ CARACTERÍSTICAS	OBJETIVO	INTERVENÇÃO	CONCLUSÃO
Mentzelopoulos et al.[22]	125 pacientes com SDRA.	Verificar através das sessões de recrutamento de oscilação de alta frequência (HFO) e TGI de curta duração com as manobras de recrutamento (RMS) se estas podem melhorar a oxigenação e permitir a redução da ventilação. mecânica convencional (CMV).	Foram incluídos 125 pacientes que tinha relação PaO_2/FiO_2 < 150 por um período de 12 horas e PEEP > 8 cmH_2O. Os pacientes foram randomizados para o grupo HFO-TGI, o qual recebeu HFO-TGI associado a RMS ou para o grupo CMV o qual recebeu ventilação protetora associado a RMS.	No início de SDRA grave, a adição de sessões de recrutamento de HFO-TGI com RMS para CMV pulmão-protetor pode melhorar a sobrevida à alta hospitalar. Esse achado é apoiado pelas melhorias associadas a fisiologia respiratória, dias livres de ventilador e função de outros órgãos vitais.

DISCUSSÃO

A TGI pode ser uma opção de recurso terapêutico a ser aplicado em associação com a VMI convencional. O método pode auxiliar durante a VMI para reduzir o espaço morto anatômico e facilitar a eliminação de CO_2 com o objetivo de melhorar a hipercapnia nos pacientes com lesão pulmonar. Com o uso dessa técnica, pode-se simultaneamente diminuir o volume corrente total e o pico de pressão inspiratória, assim minimizando a lesão pulmonar associada à VMI. A técnica pode ser utilizada em indivíduos de diferentes faixas etárias, principalmente em casos de pacientes diagnosticados com lesão pulmonar aguda (LPA), SDRA, ou em prematuros com doença de membrana hialina. Essa técnica pode ser combinada não só com a VMI convencional, mas também com ventilação de alta frequência, ventilação líquida parcial, entre outras, podendo ter resultados significativos ou não na evolução do tratamento dos pacientes[18,19].

O estudo de Guo et al., em modelo experimental com leitões jovens induzidos a LPA, verificou que após 4 horas da aplicação da TGI, em que foi administrado um fluxo constante de O_2 nas vias aéreas com 2 L/min, já houve uma redução de $PaCO_2$. Também houve ajuste de pH ao resultado do exame de gasometria, melhorando a relação PaO_2/FiO_2 e possibilitando a diminuição de parâmetros de pressões da VMI (como volume corrente total e pressão de pico inspiratória). Isso ainda minimizou a lesão induzida e, consequentemente, melhorou a ventilação alveolar. Com relação à $PaCO_2$, foi possível perceber uma redução significativa a partir de 1 hora de aplicação de TGI, mantendo-se em níveis de 35 a 45 mmHg, na comparação com apenas os ajustes realizados na VMI convencional. Com relação ao monitoramento, não houve diferença significativa nos valores basais de frequência cardíaca (FC), frequência respiratória (FR), pressão arterial média (PAM), pressão venosa central (PVC), complacência pulmonar dinâmica e resistência da via aérea entre o grupo que utilizou apenas VMI convencional e o grupo da TGI[19]. Corroborando o estudo anterior, em outro experimento de Guo et al., agora com 24 leitões jovens mecanicamente ventilados com um pico inspiratório de pressão em 10 cmH_2O, a TGI aplicada continuamente nas vias aéreas com um fluxo 2 L/min foi benéfica na avaliação funcional e histológica. Os resultados apresentaram melhora no pH, PaO_2/FiO_2, $PaCO_2$, índice de eficácia de ventilação (VEI) e volume corrente. Ambos os tratamentos, associados à ventilação limitada a pressão (PLV), também melhoraram e mantiveram estáveis as referências do monitoramento da FC, FR e PAM. O resultado que apresentou maior relação PaO_2/FiO_2 sugere uma nova estratégia protetora na lesão pulmonar e pode fornecer um melhor tratamento aos pacientes[20]. Tendo como principal objetivo a redução da hipercapnia permissiva, segundo as evidências de Hota et al.[21], verificou-se que a duração do fluxo expiratório na TGI foi estável ao longo de uma vasta gama de características de impedância. Sugere-se que a estabilidade máxima para manter o efeito da TGI poderia ser obtida através da aplicação de fluxo de TGI exclusivamente no final de 50% da fase expiratória, melhorando a eficácia na redução da $PaCO_2$.

A TGI também pode ser aplicada associada com a ventilação de alta frequência (HFO). Assim, no estudo de Mentzelopoulos et al.[18], a melhora nas trocas gasosas e na oxigenação não gerou alterações na hemodinâmica dos pacientes antes, durante e após as sessões de aplicação da TGI. A técnica, quando aplicada em combinação com outra, possibilita resultados significativos se comparados à HFO isolada. Em concordância com o estudo anterior, observou-se que nas sessões de recrutamento com HFO (que utilizou VC de 3,5 mL/kg previsto de peso corporal e pressão platô 22-40 cmH_2O, com o objetivo de minimizar volutraumas e pressão das vias aéreas para limites de atelectrauma) combinadas com a utilização do recurso de TGI, pode haver uma melhora em curto prazo no índice de oxigenação, pressão platô e complacência respiratória, com resultados significativos na melhora gasométrica. Além disso, verificou-se que a HFO associada à TGI apresentou mais dias livres da VM, com melhora clínica da função renal e resultados satisfatórios nos exames de coagulação e insuficiência hepática. Portanto, propiciou um maior índice de sobrevivência à alta hospitalar, com uma diferença de 26,4% na comparação com o grupo que utilizou somente VMI[22].

Já no estudo de Vrettou et al.[23], a TGI foi aplicada em pacientes diagnosticados com traumatismo cranioencefálico (TCE) complicados por SDRA, que apresentavam $PaO_2/FiO_2 < 100$ mmHg e ≥ 10 de pressão cmH_2O no final da expiração. A adição de TGI à HFO melhorou a oxigenação e aumentou a eliminação de CO_2, proporcionando, assim, uma estratégia protetora ao pulmão teoricamente adequada aos pacientes com TCE/SDRA. A alta velocidade de fluxo de jatos da TGI provavelmente aumenta o mecanismo de transporte de gás, facilitando o recrutamento base junto à HFO e melhorando os níveis de $PaCO_2$. A pressão platô foi aumentada durante a técnica de TGI com a HFO quando comparada à VMI convencional e às sessões de resgate de HFO + TGI em paciente com TCE + SDRA. O resultado foi uma melhora na troca gasosa e complacência com diminuição de pressões ventilatórias, sem afetar a pressão de

perfusão cerebral e pressão intracraniana, como era o objetivo proposto pelos autores.

A TGI está associada à hiperinsuflação e pode minimizar ou reverter os efeitos benéficos que esta pode promover sobre a eficiência das trocas gasosas. Geralmente, precisa de ajuste do ventilador para compensar o aumento do fluxo de gás. Entretanto, várias modificações da TGI têm sido utilizadas para tratar a hiperinsuflação dependente do fluxo. Pinsky et al.[24] exploraram a TGI contínua, que pode ser entregue tanto anterógrada (Uni-TGI) quanto bidirecional (Bi-TGI), e verificaram que a Uni-TGI causa hiperinsuflação de uma forma dependente do fluxo, o que exige reduções manuais em pressão positiva expiratória final (PEEP) extrínseca para compensar a hiperinsuflação obrigatória. A hipótese é de que o fluxo de compensação permita uma ventilação minuto constante, já que a Bi-TGI produz menos hiperinsuflação do que a UNI-TGI, mesmo com pequenos tubos de diâmetro endotraqueal nos sete cães estudados. Esse sistema de compensação de fluxo permite a entrega de TGI sem a necessidade de ajuste no ventilador durante a aplicação da técnica. Assim como nos demais estudos avaliados, Oliver et al.[25] verificaram que a TGI junto à ventilação invasiva pode ser eficaz em reduzir as pressões de pico, consequentemente obtendo estratégias protetoras. Reduz também a hipercapnia permissiva, podendo ser utilizada não só em adultos mas também em neonatos. Os coelhos jovens ventilados a 100% FiO_2, PaO_2 < 150 mmHg com lesão pulmonar induzida, quando aplicado a TGI com aporte de O_2 a 0,5 L/min durante 4 horas, mantiveram $PaCO_2$ em torno de 45 a 55 mmHg, pressão de pico < 30 e demais parâmetros constantes e sem alterações. Como resultado, foram mantidos baixos volumes correntes, o que estava de acordo com os demais estudos.

Diferentemente de todos os outros estudos, Baba et al.[26] utilizaram como amostra coelhos sem lesão pulmonar. Mesmo assim, foi possível perceber que após a aplicação da TGI, associada à ventilação oscilatória de alta frequência (VOAF), houve efeitos significativos nas trocas gasosas. Demonstrou-se que uma mistura de hélio e oxigênio entregue na traqueia com fluxo de O_2 a 3 L/min durante 10 minutos pode aumentar a eliminação de CO_2 e melhorar a oxigenação na VOAF. Também permite volumes correntes baixos, assim resultando em alguma efetividade. Porém, deve-se lembrar que esse estudo tem a limitação de os coelhos não terem sido induzidos com lesão pulmonar, o que pode influenciar a eficácia da TGI, pois a técnica altera com o tipo de doença.

No uso da TGI, o ideal é obter o monitoramento da PEEP, pressão de pico inspiratória, resistência de via aérea, complacência pulmonar e volume corrente para impedir possíveis complicações durante a aplicação da técnica. Além disso, deve-se monitorar a remoção do CO_2 pela TGI pela análise de gases arteriais, que também pode ser realizada pela capnografia. Com esse intuito, Ortiz et al.[27] verificaram as alterações da TGI sobre a capnografia de pacientes anestesiados em VMI controlada. Porém, como no estudo anterior, a amostra apresentou relação V/Q normal, com valores de $PaCO_2$ normais e sem doença pulmonar. Assim, é possível que, em indivíduos normais, a TGI não apresente a mesma eficácia daquela em indivíduos portadores de doenças respiratórias, especialmente SDRA. A opção por um volume corrente abaixo do preconizado tem como objetivo maior aproximação do volume do espaço morto, o que propicia melhor eficácia da TGI. Não foram observadas diferenças de $PaCO_2$ e $P_{ET}CO_2$ antes e após o uso da TGI. Isso provavelmente ocorreu devido à TGI não ter sido acionada em todos os ciclos. Sabe-se que a TGI, no aparelho de anestesia, foi estudada e programada para ser acionada quando o fluxo (curva fluxo por tempo) zerasse. No entanto, a presença de auto-PEEP devido à alta FR não permitiu a entrada da TGI mais vezes, o que dificulta a interpretação da sua eficácia, pois pode ter gerado a reinalação de CO_2. Com relação à capnografia, as alterações observadas na morfologia da curva, a cada ciclo de insuflação do gás, podem levar o examinador a conclusões errôneas sobre o que de fato se passa com relação à eliminação do CO_2 em pacientes anestesiados submetidos à VM + TGI. A aplicação da TGI não resultou em diminuição da $PaCO_2$ nem da $P_{ET}CO_2$, porém foi capaz de alterar a capnografia dos pacientes avaliados.

Clinicamente, os estudos apresentam a TGI como alternativa na hipercapnia permissiva e na mecânica ventilatória em pacientes com lesão pulmonar. No entanto, ficou evidente a necessidade de adequar e padronizar o modo exato de aplicação da técnica, bem como descrever as contraindicações e indicações, que não foram abordadas especificamente nos artigos pesquisados. Assim, será possível melhorar a segurança dos profissionais quando optarem pelo uso do recurso. Os estudos utilizados na presente revisão sugerem que a TGI pode ser uma técnica eficaz quando realizada em complicações pulmonares nos pacientes hipercápnicos com lesão pulmonar, estando associada a uma melhor oxigenação e mecânica respiratória. Entretanto, os estudos atuais têm grande heterogeneidade, o que compromete a análise dos resultados obtidos. A ausência de estudos randomizados e com tamanho de amostra adequada, além da pouca quantidade de evidências na prática com tamanho amostral em indivíduos, aumenta o risco de viés, como viés de detecção e de

seleção de resultados. Isso limita significativamente os resultados aqui apresentados, sendo insuficientes para analisar desfechos clínicos como eficácia no desmame ventilatório, tempo de internação na UTI e/ou mortalidade. Este estudo apresenta como limitação a busca ter sido realizada somente nas bases de dados SciELO, LILACS, PubMed e MEDLINE. Além disso, os estudos são clínicos e experimentais, o que pode limitar a comparação direta dos resultados.

CONCLUSÃO

Os estudos que abordam a eficácia da TGI são controversos, e ainda não é possível determinar qual modo de aplicação da técnica favorece o melhor tratamento. A TGI pode ser usada como recurso terapêutico na hipercapnia permissiva e para melhorar a mecânica ventilatória em pacientes com lesão pulmonar. Porém, os artigos pesquisados não fornecem um protocolo claro e seguro para que a TGI seja utilizada com completa segurança. Sugerimos que novas pesquisas explorem essa técnica, auxiliando seu desenvolvimento e buscando uma melhor compreensão dos seus benefícios, para possibilitar sua adoção rotineira nas UTIs.

Conflitos de Interesse

Os autores declaram não ter conflitos de interesse.

REFERÊNCIAS

1. Salgado A, Cardoso BB, Mello MP, Eigenheer JF, Presto BL, Presto L, et al. Insuflação traqueal de gás como terapia alternativa a hipercapnia em pacientes com SARA. *Revista Neurociências*. 2010;18(3):365-9.
2. Hoffman LA, Tasota FJ, Delgado E, Zullo TG, Pinsky MR. Effect of tracheal gas insufflation during weaning from prolonged mechanical ventilation: a preliminary study. *Am J Crit Care*. 2003;12(1):31-9. PMid:12526235.
3. Romano TG, Correia MDT, Mendes PV, Zampieri FG, Maciel AT, Park M. Adaptação metabólica diante de hipercapnia persistente aguda em pacientes submetidos à ventilação mecânica por síndrome do desconforto respiratório agudo. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2016;28(1):19-26.
4. Silva LFF. Hipercapnia permissiva. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2001;13(4):123-35.
5. Epstein SK. TGIF: tracheal gas insufflation: for whom? *Chest*. 2002;122(5):1515-7. http://dx.doi.org/10.1378/chest.122.5.1515. PMid:12426245.
6. Imanaka H, Kirmse M, Mang H, Hess D, Kacmarek RM. Expiratory phase tracheal gas insufflation and pressure control in sheep with permissive hypercapnia. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;159(1):49-54. http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.159.1.9801087. PMid:9872817.
7. Black IH, Angelucci MP, Linfoot JA, Grathwohl KW. Novel use of a portable ventilation device with low-flow tracheal insufflation of oxygen in a swine model. *J Trauma*. 2008;65(5):1133-9. http://dx.doi.org/10.1097/TA.0b013e318166d262. PMid:19001987.
8. Hoffman LA, Miro AM, Tasota FJ, Delgado E, Zullo TG, Lutz J, et al. Tracheal gas insufflation. Limits of efficacy in adults with acute respiratory distress syndrome. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000;162(2):387-92. http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.162.2.9910111. PMid:10934058.
9. Carter CS, Hotchkiss JR, Adams AB, Stone MK, Marini JJ. Distal projection of insufflated gas during tracheal gas insufflation. *J Appl Physiol*. 2002;92(5):1843-50. http://dx.doi.org/10.1152/japplphysiol.00160.2001.
10. Sala AD, Auler Jr JOC. Insuflação traqueal de gás. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2004;16(3):197-201.
11. Dingley J, Findlay GP, Foex BA, Little RA, King R, Smithies MN. Tracheal gas insufflation. *Anaesthesia*. 2001;56(5):433-40. http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2044.2001.01909.x.
12. Volpe MS. *Estudo de três estratégias de ventilação artificial protetora: alta freqüência, baixa freqüência e baixa freqüência associada à insuflação de gás traqueal, em modelo experimental de SARA* [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo; 2006.
13. Kirmse M, Fujino Y, Hromi J, Mang H, Hess D, Kacmarek RM. Pressure-release tracheal gas insufflation reduces airway pressures in lung-injured sheep maintaining eucapnia. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999;160(5):1462-7. http://dx.doi.org/10.1164/ajrccm.160.5.9901030. PMid:10556106.
14. Kim JS, Lee BH, Jang IS, Jeon HJ, Kim HY, Han JS, et al. Tracheal gas insufflation-aided mechanical ventilation during carbon dioxide-induced pneumoperitoneum in rabbits. *J Vet Med Sci*. 2003;65(8):907-12. http://dx.doi.org/10.1292/jvms.65.907. PMid:12951424.
15. Zhu G, Shaffer TH, Wolfson MR. Continuous tracheal gas insufflation during partial liquid ventilation in juvenile rabbits with acute lung injury. *J Appl Physiol*. 2004;96(4):1415-24. http://dx.doi.org/10.1152/japplphysiol.01121.2003. PMid:14688036.
16. Miller TL, Blackson TJ, Shaffer TH, Touch SM. Tracheal gas insufflation-augmented continuous positive airway pressure in a spontaneously breathing model of neonatal respiratory distress. *Pediatr Pulmonol*. 2004;38(5):386-95. http://dx.doi.org/10.1002/ppul.20094. PMid:15390348.
17. Pelosi P, Sutherasan Y. High-frequency oscillatory ventilation with tracheal gas insufflation: the rescue strategy for brain-lung interaction. *Crit Care*. 2013;17(4):R179. http://dx.doi.org/10.1186/cc12862. PMid:23981807.

18. Mentzelopoulos SD, Malachias S, Kokkoris S, Roussos C, Zakynthinos SG. Comparison of high-frequency oscillation and tracheal gas insufflation versus standard high-frequency oscillation at two levels of tracheal pressure. *Intensive Care Med*. 2010;36(5):810-6. http://dx.doi.org/10.1007/s00134-010-1822-8.

19. Guo ZL, Ren T, Cai Y, Lu G, Gong J, Liang Y. Insuflação de gás traqueal contínua durante a ventilação mecânica protetora em leitões jovens com lesão pulmonar aguda induzida por endotoxina. *World J Emerg Med*. 2010;1(1):59-64. PMid:25214943.

20. Guo ZL, Liang YJ, Lu GP, Wang JC, Ren T, Zheng YH, et al. Tracheal gas insufflation with partial liquid ventilation to treat lps-induced acute lung injury in juvenile piglets. *Pediatr Pulmonol*. 2010;45(7):700-7. http://dx.doi.org/10.1002/ppul.21257. PMid:20672361.

21. Hota S, Crooke PS, Adams AB, Hotchkiss JR. Optimal phasic tracheal gas insufflation timing: an experimental and mathematical analysis. *Crit Care Med*. 2006;34(5):1408-14. http://dx.doi.org/10.1097/01.CCM.0000214515.45727.21. PMid:16557158.

22. Mentzelopoulos SD, Malachias S, Zintzaras E, Kokkoris S, Zakynthinos E, Makris D, et al. Intermittent recruitment with high-frequency oscillation/tracheal gas insufflation in acute respiratory distress syndrome. *Eur Respir J*. 2012;39(3):635-47. http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00158810. PMid:21885390.

23. Vrettou CS, Zakynthinos SG, Malachias S, Mentzelopoulos SD. High-frequency oscillation and tracheal gas insufflation in patients with severe acute respiratory distress syndrome and traumatic brain injury: an interventional physiological study. *Crit Care*. 2013;17(4):R136. http://dx.doi.org/10.1186/cc12815. PMid:23844839.

24. Pinsky MR, Delgado E, Hete B. The effect of tracheal gas insufflation on gas exchange efficiency. *Anesth Analg*. 2006;103(5):1213-8. PMid:17056957.

25. Oliver RE, Rozycki HJ, Greenspan JS, Wolfson MR, Shaffer TH. Tracheal gas insufflation as a lung-protective strategy: physiologic, histologic, and biochemical markers. *Pediatr Crit Care Med*. 2005;6(1):64-9. http://dx.doi.org/10.1097/01.PCC.0000149319.44979.CC. PMid:15636662.

26. Baba A, Nakamura T, Aikawa T, Koike K. Extremely low flow tracheal gas insufflation of helium-oxygen mixture improves gas exchange in a rabbit model of piston-type high-frequency oscillatory ventilation. *Biomed Eng Online*. 2013;12(29):29. http://dx.doi.org/10.1186/1475-925X-12-29. PMid:23566050.

27. Ortiz AC, Muneshika M, Martins FA. Influência da insuflação de gás traqueal sobre a capnografia de pacientes anestesiados. *Rev Bras Anestesiol*. 2008;58(5):440-6. http://dx.doi.org/10.1590/S0034-70942008000500002. PMid:19382403.

Recebido: 23 fev, 2018
Aceito: 11 jun, 2018