LUCIANA BRANCO HADDAD MOLINA DIAS

**Impacto da profissão associado ao uso de
diferentes equipamentos sobre a ventilação
alveolar e a mecânica respiratória em coelhos
adultos**

Tese apresentada à Faculdade de Medicina
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências

Programa de Pediatria

Orientador: Prof. Dr. Celso Moura Rebello

(Versão corrigida. Resolução CoPGr 5890, de 20 de dezembro de 2010.
A versão original está disponível na Biblioteca FMUSP)

**SÃO PAULO
2017**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Dias, Luciana Branco Haddad Molina

Impacto da profissão associado ao uso de diferentes equipamentos sobre a ventilação alveolar e a mecânica respiratória em coelhos adultos / Luciana Branco Haddad Molina Dias -- São Paulo, 2017.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
Programa de Pediatria.

Orientador: Celso Moura Rebello.

Descritores: 1.Ventilação 2.Recém-nascido 3.Recém-nascido prematuro 4.Lesão pulmonar 5.Hipocapnia 6.Ressuscitação

USP/FM/DBD-273/17

“No meio da dificuldade encontra-se a oportunidade”.

Albert Einstein

Aos meus filhos Daniel e Lorenzo, por me permitirem e aceitarem minha ausência por longos períodos, para que eu me dedicasse no desenvolvimento desta tese.

Ao meu marido Marcus pelo amor, companheirismo, apoio e por cuidar de tudo para que eu pudesse trabalhar tranquila em muitos momentos.

Aos meus pais Angela e Didinho, por todo apoio incondicional sempre, sem eles não poderia nem sonhar em começar essa linda jornada.

As minhas irmãs Mariana e Juliana, pelo apoio e incentivo.

A memória de meu irmão Daniel sempre presente no meu coração!!!

Amo muito todos vocês!!!

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, padrinho e grande amigo Celso Rebello, que me acompanha desde o início da minha vida científica, desde os primeiros coelhos, congressos nacionais e internacionais, que me ensinou a ler e escrever.

A minha amiga, madrinha, pediatra, “orientadora” Renata Mascaretti pelos ensinamentos, apoio e estímulos em todas as horas.

Aos meus amigos voluntários fisioterapeutas, enfermeiras e médicos que foram fundamentais para a realização deste estudo.

Aos meus amigos Luciana Assis, Regina Quinzani, Renata Lorenzetti e Marcelo Santos, pela colaboração na coleta de dados.

A minha chefe Cristiane do Prado, que sempre me apoiou e incentivou.

A Dra Cléa Leone, Dr João Cesar Lyra, Dra Maria Fernanda Branco Almeida e Dra Maria Esther Jurfest Rivero Ceccon, membros da minha banca de qualificação, que muito me auxiliaram com excelentes sugestões.

Aos meus recém-nascidos e crianças do Hospital Israelita Albert Einstein, que são meu estímulo constante para continuar pesquisando e estudando sempre para poder ajuda-los nos momentos difíceis.

Ao Departamento de Pediatria da Faculdade de Medicina e ao Instituto da Criança, pela oportunidade de realizar este trabalho.

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação.
Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias.

Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3ª ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentações; 2011.

Abreviatura dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

Lista de abreviaturas e siglas

Lista de figuras

Lista de gráficos

Resumo

Abstract

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Sobrevida do recém-nascido prematuro	2
1.2	Desenvolvimento pulmonar	4
1.3	Mecanismos de lesão pulmonar no recém-nascido prematuro	7
1.4	Displasia broncopulmonar	12
1.5	Ventilação manual	13
1.5.1	Onde é feita	13
1.5.2	Como é feita?	14
1.5.3	Quem faz?	19
1.5	Hipótese	20
2	OBJETIVOS	22
2.1	Objetivo Geral	23
2.2	Objetivos Específicos	23
3	MÉTODOS	24
3.1	Profissionais voluntários e desenho do estudo	25
3.2	Manipulação dos animais	27
3.3	Ventilação dos animais	27
3.4	Monitorização da mecânica respiratória e obtenção dos dados gasométricos	30
3.5	Análise Estatística	33
4	RESULTADOS	35
5	DISCUSSÃO	47
6	CONCLUSÕES	60
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
8	ANEXO	64
9	REFERÊNCIAS	66
	APÊNDICE	77

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPAP	- Pressão positiva contínua nas vias aéreas
CRF	- Capacidade residual funcional
DBP	- Displasia bronco pulmonar
FC	- Frequência cardíaca
FiO ₂	- Fração inspirada de oxigênio
FR	- Frequência respiratória
IL-1 β	- Interleucina 1 beta
IL-6	- Interleucina 6
IL-8	- Interleucina 8
PaCO ₂	- Pressão parcial de gás carbônico
PEEP	- Pressão expiratória final positiva
PIP	- Pressão inspiratória
RNA _m	- Ácido desoxirribonucleico mensageiro
RNMBP	- Recém-nascido de muito baixo peso
TNF- α	- Fator de necrose tumoral alfa
UTI	- Unidade de terapia intensiva
VON	- <i>Vermont Oxford Network</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Média de mortalidade geral e da mortalidade em até 12 horas de vida dos recém-nascidos de muito baixo peso admitidos em um hospital privado do município de São Paulo (barras cinzas e vermelhas) no período de 2010 a 2015 e da Rede Vermont Oxford em 2015 (barras azuis)	3
Figura 2 - Fases do desenvolvimento pulmonar	4
Figura 3 - Desenho representativo do balão autoinflável	15
Figura 4 - Desenho representativo da Peça T.....	17
Figura 5 - Desenho esquemático do estudo.....	26
Figura 6 - Voluntário realizando a ventilação manual utilizando a Peça T	28
Figura 7 - Voluntário realizando a ventilação manual utilizando o balão autoinflável	29
Figura 8 - Detalhe da ventilação mostrando o pneumotacógrafo (seta) utilizado no estudo	30
Figura 9 - Tela do sistema informatizado de aquisição de dados. Ventilação realizada com o balão autoinflável	31
Figura 10 - Tela do sistema informatizado de aquisição de dados. Ventilação realizada com a Peça T.....	32
Figura 11 - Equipamento utilizado para a realização da gasometria.....	33

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valores de volume minuto de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais	38
Gráfico 2 - Valores de volume corrente de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais	39
Gráfico 3 - Valores de pressão inspiratória de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais	40
Gráfico 4 - Valores de frequência respiratória de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais	41
Gráfico 5 - Valores de tempo inspiratório de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos profissionais	42
Gráfico 6 - Valores de tempo expiratório de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais	43
Gráfico 7 - Valores de PaCO ₂ antes do início da ventilação manual nos três grupos de profissionais	44
Gráfico 8 - Valores de pH antes do início da ventilação manual nos três grupos de profissionais	44
Gráfico 9 - Valores de PaCO ₂ após 10 minutos de ventilação manual de acordo com o tipo de equipamento utilizado, nos três grupos de profissionais	45
Gráfico 10 - Valores de pH após 10 minutos de ventilação manual de acordo com o tipo de equipamento utilizado, nos três grupos de profissionais	46

RESUMO

Dias LBHM. *Impacto da profissão associado ao uso de diferentes equipamentos sobre a ventilação alveolar e a mecânica respiratória em coelhos adultos* [Tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2017.

Introdução: A ventilação manual é um aspecto chave que determina a eficiência da ressuscitação neonatal e pode ser realizada por várias categorias de profissionais utilizando diferentes equipamentos. **Objetivos:** Comparar os efeitos da ventilação manual realizada por diferentes profissionais envolvidos na assistência neonatal, médicos, enfermeiros e fisioterapeutas, utilizando dois equipamentos: Peça T e balão autoinflável. **Métodos:** Coelhos adultos foram submetidos à ventilação manual utilizando Peça T ou balão autoinflável, 10 minutos com cada dispositivo, operado por médicos, fisioterapeutas e enfermeiros, num total de 21 indivíduos. A escolha do primeiro dispositivo utilizado por cada voluntário foi realizada por randomização. Os dados de mecânica respiratória (volume corrente, volume minuto, frequência respiratória, tempos inspiratório e expiratório, pressão inspiratória e pressão expiratória final positiva) foram obtidos de maneira contínua através de um sistema informatizado de aquisição de dados, cega para os operadores. Amostras de sangue arterial foram obtidas por cateterização da carótida antes e depois de cada ventilação manual para determinação da PaCO_2 e do pH. Foram comparados os dispositivos entre si, assim como o desempenho dos grupos de profissionais com cada dispositivo. **Resultados:** Quando analisados todos os profissionais em conjunto ($n = 21$) os animais ventilados com o balão autoinflável apresentaram maior volume minuto, menor frequência respiratória, menor tempo inspiratório e maiores valores de pH após o período de 10 minutos de ventilação. Quando analisados separadamente cada um dos três grupos de

profissionais, os animais ventilados com o balão autoinflável no grupo Enfermeiras (n = 7) apresentaram maior volume minuto (390 ± 108 vs 766 ± 410 mL/min, $p < 0,05$) em relação ao grupo Fisioterapeutas (n = 7) (418 ± 192 vs 886 ± 787 mL/min) e grupo Médicos (n = 7) (438 ± 206 vs 705 ± 434 mL/min). Resultados similares foram encontrados em relação ao pH após 10 minutos de ventilação manual, sendo observada no grupo Enfermeiras a ocorrência de alcalose respiratória ($7,40 \pm 0,11$ vs $7,61 \pm 0,02$, $p < 0,05$, $7,37 \pm 0,10$ vs $7,52 \pm 0,23$, $7,36 \pm 0,07$ vs $7,40 \pm 0,18$ mL/min, respectivamente) e de hipocapnia ($32,4 \pm 6,9$ vs $23,4 \pm 7,5$ mmHg, $p < 0,05$; $40,4 \pm 10,8$ vs $28,0 \pm 15,2$ mmHg, $38,0 \pm 13,8$ vs $42,6 \pm 18,1$ mmHg) respectivamente. Conclusão: O balão autoinflável resultou em hipocapnia e alcalose respiratória no grupo Enfermeiras, a ventilação manual utilizando a Peça T resultou em menor volume corrente e menor volume minuto.

Descritores: ventilação; recém-nascido; recém-nascido prematuro; lesão pulmonar; hipocapnia; ressuscitação.

ABSTRACT

Dias LBHM. *Impact of the profession associated with the use of different equipment on alveolar ventilation and respiratory mechanics in adult rabbits* [Thesis]. São Paulo: “Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2017.

Introduction: Manual ventilation is a key aspect that determines the efficiency of neonatal resuscitation and can be performed by several categories of professionals using different equipment. Objectives: To compare the effects of manual ventilation performed by different professionals involved in neonatal care, physicians, nurses and physiotherapists, using two devices: T-piece and self-inflating bag. Methods: Adult rabbits were submitted to manual ventilation using T-piece or self-inflating bag, 10 minutes with each device, operated by physicians, physiotherapists and nurses, in a total of 21 individuals. The choice of the first device used by each volunteer was by randomization. Respiratory mechanics data (tidal volume, minute volume, respiratory rate, inspiratory and expiratory time, inspiratory pressure and positive end expiratory pressure) were obtained continuously through a computerized data acquisition system, blind to operators. Arterial blood gas samples were obtained through carotid catheterization before and after each manual ventilation for determination of PaCO₂ and pH. The devices were compared to each other as well as the performance of groups of professionals with each device. Results: When all the professionals (n = 21) were analyzed together, the animals ventilated with the self-inflating bag presented higher minute volume, lower respiratory rate, shorter inspiratory time and higher pH values after 10 minutes of ventilation. When the three groups of professionals were analyzed separately, the animals ventilated with the self-inflating bag in the Nurse group (n = 7) had a higher minute volume (390±108 vs 766±410 mL/min, p < 0.05) compared to the Physiotherapists

group (n = 7) (418 ± 192 vs 886 ± 787 mL/min) and the Physicians group (n = 7) (438 ± 206 vs. 705 ± 434 mL/min). Similar results were found in relation to pH after 10 minutes of manual ventilation, with the occurrence in the Nurses group of respiratory alkalosis (7.40 ± 0.11 vs 7.61 ± 0.02 , $p < 0.05$, 7.37 ± 0.10 vs 7.52 ± 0.23 , 7.36 ± 0.07 vs 7.40 ± 0.18 mL/min, respectively) and hypocapnia (32.4 ± 6.9 vs 23.4 ± 7.5 mmHg, $p < 0.05$; 40.4 ± 10.8 vs 28.0 ± 15.2 mmHg, 38.0 ± 13.8 vs. 42.6 ± 18.1 mmHg) respectively. Conclusion: The self-inflating bag resulted in hypocapnia and respiratory alkalosis in the Nurses group, manual ventilation using T-piece resulted in lower tidal volume and minute volume.

Descriptors: ventilation; infant, newborn; infant, premature; lung injury; hypocapnia; resuscitation.

1 INTRODUÇÃO

1.1 Sobrevida do recém-nascido prematuro

A taxa de sobrevida de recém-nascidos prematuros tem aumentado nos últimos anos, o que mudou os limites da viabilidade nas últimas décadas. Em um estudo realizado com prematuros inscritos no banco de dados genéricos do *National Institute of Child and Human Development Neonatal Research Network*, nascidos entre 22^{0/7} e 28^{6/7} semanas de gestação, o número de mortes por 1000 nascidos vivos foi reduzido de 275 no período de 2000 a 2003 para 258 no período de 2008-2011¹.

Em um estudo publicado em 2017 onde foram avaliados 11 centros participantes do *National Institute of Child Health and Human Development Neonatal Research Network*, em três períodos: período 1 (2000 a 2003), período 2 (2004 a 2007) e período 3 (2008 a 2011), foi observado um aumento da sobrevida de 30% (424 de 1391 prematuros) no período 1, para 36% (487 de 1348 prematuros) no período 3². Em outro estudo recente, publicado em 2016, foi demonstrada uma diminuição da mortalidade nos prematuros de 22 a 24 semanas de gestação de 55% para 42%³. O mesmo comportamento foi observado em prematuros extremos, com aumento da sobrevida entre os recém-nascidos de 23 semanas de 27% para 33% e nos de 24 semanas de 63% para 65%, no período de 2009 a 2012⁴.

Em um hospital privado do município de São Paulo, foi demonstrado uma maior da sobrevida dos recém-nascidos de muito baixo peso (RNMBP) (peso de nascimento inferior a 1500 g), em relação aos dados da rede *Vermont Oxford Network* (VON) correspondentes ao ano de 2015. A VON é uma entidade sem fins lucrativos com base em Burlington, Vermont (Estados Unidos), e mantém um banco de dados epidemiológicos e sobre cuidados e evolução de RNMBP. Esta rede fornece uma base única e confidencial para os centros participantes em relação à casuística, qualidade de atendimento ao recém-nascido prematuro e aos processos institucionais de atendimento.

Atualmente a rede possui mais de 1.000 centros participantes ao redor do mundo, com capacidade de coleta de dados de mais de 60.000 recém-nascidos por ano. Desde 1990, mais de 2.000.000 de dados de recém-nascidos foram acrescentados ao seu banco de dados.

No período de 2010 a 2015 a mortalidade geral foi menor do que a descrita pela VON, exceto no ano de 2012, onde a mortalidade geral alcançou valores próximos a 24%⁵ (Figura 1).

Figura 1 - Média de mortalidade geral e da mortalidade em até 12 horas de vida dos recém-nascidos de muito baixo peso admitidos em um hospital privado do município de São Paulo (barras cinzas e vermelhas) no período de 2010 a 2015 e da Rede Vermont Oxford em 2015 (barras azuis) [Fonte: Pavez⁵]

1.2 Desenvolvimento pulmonar

O desenvolvimento pulmonar fetal é tradicionalmente dividido em cinco fases. Fase embrionária, que se estende da concepção até a 5^a-7^a semana de gestação; fase pseudoglandular, iniciando-se entre a 5^a-7^a e terminando entre a 16^a-17^a semana de gestação; fase canalicular, com início entre a 16^a-17^a semana estendendo-se até 24^a-26^a semana de gestação; fase sacular, que se inicia entre a 24^a-26^a semana e se estende aproximadamente até a 36^a-38^a semana de gestação e finalmente a fase alveolar, que se inicia por volta da 36^a-38^a semana de gestação continuando-se até os primeiros anos após o nascimento^{6-11,12} (Figura 2).

Figura 2 - Fases do desenvolvimento pulmonar*

A fase embrionária ocorre no período de organogênese, que corresponde à formação inicial dos órgãos. Nesta fase o pulmão se desenvolve como uma protuberância, a partir da parede ventral do intestino

* Imagem cedida pela Dra. Cristiane do Prado, em 2017.

primitivo. As células epiteliais do intestino anterior invadem o mesênquima para formar a traqueia, que se ramifica para os brônquios principais direito e esquerdo e posteriormente para os brônquios lobares e segmentares. As artérias e veias pulmonares desenvolvem-se como um único broto vascular e continuam a crescer em torno dos botões das vias aéreas da 4^a à 16^a semana de gestação^{6,7}.

A fase embrionária é seguida pela fase pseudoglandular, que é assim chamada pois os túbulos epiteliais são rodeados por tecido mesenquimal. Esta fase é marcada pela ramificação adicional das vias aéreas e da rede vascular com diferenciação progressiva das células epiteliais para formar estruturas de cartilagem, glândulas submucosas, músculo liso e células epiteliais. Em 14 semanas 70% da via aérea total gerada no nascimento é formada e, no final de 17 semanas, a formação das vias aéreas de condução e bronquíolos terminais é completa. Durante essa fase são formadas todas as estruturas pré acinares, artérias pulmonares e veias^{6,8}.

As estruturas que correspondem aos bronquíolos, ductos alveolares e alvéolos primitivos são formadas durante a fase canalicular. Esse estágio é marcado por dois importantes passos do desenvolvimento pulmonar: a diferenciação das células alveolares do tipo I e II e a formação da barreira alvéolo-capilar que transformam o pulmão em um órgão potencialmente viável para a realização de trocas gasosas. O surfactante, produzido pelos pneumócitos tipo II, é detectável a partir da 24^a semana de gestação. No final desta fase, a periferia do pulmão é constituída por sacos alveolares simples e finos, que são formados pela redução da quantidade de mesênquima^{6,8,9}.

A fase sacular inicia com o alargamento acentuado das vias aéreas periféricas à medida que os túbulos alveolares acinares se dilatam e as paredes ficam finas, resultando em uma área de superfície de troca gasosa aumentada. Nesta fase, a divisão das vias aéreas está quase completa. Ocorre uma diferenciação adicional de células do tipo I em células do tipo II e maturação do sistema surfactante. Estas características estruturais permitem que ocorram trocas gasosas, ainda que de modo bastante ineficiente, permitindo a sobrevivência de prematuros a partir da 22ª ou 23ª semana de gestação (no início da fase sacular)^{6,8,11}. De fato, como citado acima, a sobrevivência de recém-nascidos a partir da 23ª semana de gestação se situa entre 24 e 41%, já com 24 semanas de gestação a sobrevivência aumenta para taxas entre 55 e 68%^{2,3,4}. Como consequência, a quase totalidade dos prematuros extremos que sobrevivem estão na fase sacular do desenvolvimento pulmonar, onde o sistema surfactante e a capacidade antioxidante se apresentam ainda imaturos, tornando esses recém-nascidos susceptíveis ao desenvolvimento de uma das complicações mais importantes da prematuridade, a displasia broncopulmonar (DBP)¹³.

Finalmente, na fase alveolar ocorre maior maturação das células alveolares do tipo I e do tipo II, com maior desenvolvimento dos capilares pulmonares, aumentando a eficiência da troca gasosa⁸. Essa fase é marcada pelo desenvolvimento de septos secundários nas vias aéreas terminais e pela formação de alvéolos definitivos, à medida que a parede das vias aéreas se tornam mais finas, aumentando a superfície de troca gasosa e o volume pulmonar^{7,9}.

Este processo se continua no período pós-natal, possivelmente sendo completado nos primeiros anos após o nascimento¹². O número final de alvéolos no pulmão totalmente desenvolvido varia de 300 a 600 milhões, ou seja aproximadamente 1.000 alvéolos por ácino⁷.

1.3 Mecanismos de lesão pulmonar no recém-nascido prematuro

Com os avanços tecnológicos, o aprimoramento dos cuidados na medicina perinatal e o consequente aumento da sobrevida dos recém-nascidos prematuros na fase sacular do desenvolvimento pulmonar, a lesão pulmonar decorrente da assistência ventilatória e do uso de oxigênio para o tratamento da insuficiência respiratória se tornou uma condição específica importante, que afeta negativamente o desenvolvimento pulmonar pós-natal. Esses prematuros se encontram na fase sacular do desenvolvimento pulmonar podendo ter o desenvolvimento para a fase alveolar prejudicado⁶.

Os principais mecanismos que determinam a lesão pulmonar que ocorre nesta fase incluem o volutrauma, o atelectrauma, o biotrauma e a lesão pela exposição ao oxigênio, e elas podem ocorrer tanto na ventilação mecânica como na ventilação manual na sala de parto.

O volutrauma é causado pela hiperexpansão e estiramento das vias aéreas e sacos alveolares, com extravasamento de proteínas e sangue para as vias aéreas, resultando em interferência na função do surfactante pulmonar¹⁴. O aumento do volume pulmonar com estiramento e não a pressão por si só, promove a lesão pulmonar¹⁵. Volumes correntes elevados causam lesão do endotélio capilar pulmonar, do epitélio respiratório e das

membranas basais, aumentando o número de neutrófilos e citocinas no pulmão, levando ao edema pulmonar, tendo um papel fundamental na lesão pulmonar induzida pela ventilação mecânica ou pela ventilação manual¹⁶.

Estudos experimentais demonstraram que o volutrauma pode ocorrer com apenas alguns ciclos de ventilação manual durante a reanimação do prematuro, quando se utilizam volumes elevados e sem pressão expiratória final positiva (PEEP), mesmo quando os níveis de pressão inspiratória são baixos¹⁷.

Um estudo investigou a influência do treinamento e da experiência específica do operador no manuseio dos equipamentos de ventilação manual sobre o pico de pressão inspiratória e sobre o volume corrente, demonstrando que quanto menor o nível de treinamento do operador, maior o pico de pressão inspiratória e maior o volume corrente gerado, quando o dispositivo utilizado era o balão autoinflável¹⁸.

Na prática clínica, o volume corrente na sala de reanimação é bastante variável e rotineiramente não é monitorado. Os pulmões prematuros cheios de líquido, necessitam de picos de pressão inspiratória (PIP) elevados para manter um volume corrente de 8 mL/kg em um pulmão com capacidade pulmonar total de cerca de 50 mL/kg. Observou-se, em estudo experimental, que na ventilação manual com uma frequência respiratória de 40 ciclos/minuto é necessário tempo inspiratório mais prolongado para se obter um volume corrente de 8 mL/kg. Também foi observado que os animais mantinham uma hipercarbica com valores de pressão parcial de CO₂ (PaCO₂) próximos a 60-70 mmHg, sugerindo que

para reverter essa hipercarbia e alcançar rapidamente valores normais de PaCO_2 , seria necessário aumentar a frequência respiratória e o volume corrente, o que poderia determinar a ocorrência de lesão pulmonar¹⁹.

O termo atelectrauma é dado ao colapso alveolar repetido que ocorre ao final da expiração²⁰. A redução da capacidade residual funcional (CRF), definido como o volume que permanece nos pulmões ao final de uma expiração normal, é tanto causa como consequência de lesões pulmonares em prematuros com deficiência quantitativa ou qualitativa de surfactante, onde os alvéolos são propensos ao colapso¹⁵.

A abertura e fechamento cíclico das unidades alveolares ou dos sacos alveolares, durante a ventilação manual ou mecânica, causa lesão pulmonar. A lesão ocorre quando os alvéolos são reinflados repetidamente a partir do colapso, sujeitando-os a forças de cisalhamento elevadas. Nesta situação as citocinas são liberadas, os leucócitos se acumulam e são ativados nos pulmões, causando danos caracterizados por ruptura epitelial, formação de membrana hialina, perda de células das vias aéreas, aumento da permeabilidade capilar alveolar, disfunção do surfactante, diminuição da complacência pulmonar e piora da troca gasosa. A ventilação com pressão positiva utilizando valores de PEEP inadequados leva a um baixo volume residual e atelectasia²¹. Portanto estratégias ventilatórias que aumentem a CRF e otimizem o recrutamento pulmonar, como o uso da PEEP²², a administração de surfactante exógeno¹⁴ ou o uso de ventilação de alta frequência com pressão média das vias aéreas adequada²³, protegem contra a lesão pulmonar induzida pela ventilação.

A radiografia de contraste de fases é uma técnica utilizada para identificar como diferentes procedimentos de ventilação mecânica influenciam na uniformidade da aeração pulmonar ao nascimento e contrabalançam a tendência do pulmão prematuro a entrar em colapso no final da expiração. Essa técnica foi utilizada em um estudo experimental, que demonstrou que o uso da PEEP auxilia na criação e manutenção da CRF em coelhos prematuros ventilados mecanicamente. Sem a PEEP os pulmões colabam e são preenchidos por líquido durante a expiração, impedindo o desenvolvimento da CRF. Além do atelectrauma, o colapso e a reinsuflação repetida das vias aéreas distais fazem com que o volume pulmonar diminua abaixo do seu volume de espaço morto durante a expiração²⁴.

Em um estudo experimental com cordeiros prematuros ventilados por duas e sete horas utilizando-se valores de PEEP de 0 cmH₂O, 4 cmH₂O e 7 cmH₂O, foi demonstrado que a ventilação mecânica resultou em grandes aumentos da expressão de interleucina (IL)-1 β e da IL-6 RNAm de oito a 64 vezes, e aumentos mais modestos de IL-8 e TNF- α RNAm. A ventilação utilizando um valor de PEEP de 0 cmH₂O causou a lesão mais grave, com níveis mais elevados de marcadores biológicos de lesão pulmonar. A porcentagem de área de alvéolos colapsados, foi significativamente maior nos animais ventilados com PEEP de 0 cmH₂O, em comparação aos animais ventilados com PEEP de 4 cmH₂O e 7 cmH₂O²⁵. Este estudo demonstra a importância do uso da PEEP na redução da lesão pulmonar, podendo ser aplicado mesmo na ventilação manual de prematuros na sala de reanimação.

O biotrauma é representado pela amplificação das lesões pulmonares induzidas pela ventilação mecânica. Ocorre pela liberação de mediadores inflamatórios secundários às lesões físicas, que podem ocorrer por atelectrauma ou volutrauma. Estas lesões pulmonares aumentam o número de células inflamatórias na circulação sistêmica, com consequente translocação bacteriana e liberação de endotoxinas no espaço aéreo, o que agrava o processo inflamatório²⁰.

Em um estudo experimental com neonatologistas experientes em reanimação neonatal, ventilando com o balão autoinflável carneiros prematuros intubados, observou-se uma grande variabilidade tanto da PIP como do volume corrente. Este último muitas vezes atingiu valores elevados, alcançando níveis indutores de volutrauma e de biotrauma¹⁹.

Muitos recém-nascidos prematuros necessitam da ventilação com pressão positiva para aerar os pulmões e superar a elevada tensão superficial e as forças de fricção causadas pelas vias aéreas cheias de líquido²⁴. As estratégias ventilatórias na sala de reanimação desempenham um papel fundamental no desenvolvimento ou prevenção da lesão pulmonar. Atualmente há pouca evidência específica sobre o suporte ventilatório adequado para o recém-nascido prematuro imediatamente após o nascimento, mas é conhecido que, para permitir troca gasosa adequada, é necessário a rápida criação e manutenção da CRF, através do uso da PEEP^{24,26,27}. Os diversos equipamentos de ventilação manual utilizados de rotina atualmente diferem em sua capacidade de gerar e manter um valor de PEEP confiável. Além disso, os diversos profissionais que atuam na

ventilação manual dos prematuros podem ter diferentes desempenhos, conforme o equipamento utilizado para a ventilação, podendo gerar maior ou menor agressão ao pulmão em desenvolvimento.

1.4 Displasia broncopulmonar

A DBP foi descrita inicialmente por Northway *et al.*²⁸ como uma complicação em prematuros submetidos à ventilação mecânica prolongada e uso de oxigênio suplementar, esses recém-nascidos classicamente apresentavam um mecanismo de lesão pulmonar seguido de reparação. O termo DBP foi utilizado para enfatizar o envolvimento de todos os tecidos do pulmão no processo patológico, que incluíam inflamação e fibrose das vias aéreas, hipertrofia do músculo liso, colapso alveolar, hiperinsuflação e fibrose intersticial²⁹.

A DBP “clássica”, como foi descrita, tinha uma alta incidência de óbitos e acometia recém-nascidos prematuros com idade gestacional menor ou igual a 32 semanas. A ventilação mecânica era agressiva, com altos volumes correntes e pressões inspiratórias e associada a frações inspiradas de oxigênio (FiO₂) elevadas. O Raio x de tórax apresentava edema peri hilar, hiperinsuflação, enfisema cístico e fibrose, no exame anatomopatológico era comum a presença de edema alveolar e metaplasia de vias aéreas³⁰.

Essas alterações histopatológicas de lesão de vias aéreas graves, hiperinsuflação e fibrose da DBP “clássica” foram parcialmente perdidas e alteradas à medida que ocorreram avanços tecnológicos, melhores cuidados de enfermagem, otimizadas estratégias ventilatórias e a abordagem mais

conservadoras foram adotadas para tratar o componente respiratório primário da doença. A forma clássica de DBP começou a mudar e surgiu um novo conceito, chamado de “nova” DBP¹¹.

Hoje a DBP é considerada uma doença de causa multifatorial, sendo o mecanismo central na sua fisiopatologia a prematuridade, associado à ventilação pulmonar artificial (mecânica ou manual), uso de oxigênio, a ocorrência de desnutrição pré ou pós-natal e a inflamação pulmonar secundária à infecção.

Neste sentido os mecanismos de lesão podem se iniciar no momento da reanimação na sala de parto, através da ventilação manual com volumes correntes excessivos.

1.5 Ventilação manual

1.5.1 Onde é feita

A ventilação manual é uma ferramenta utilizada há muitas décadas para dar suporte aos recém-nascidos em diversas situações. Frequentemente ela é utilizada já nos primeiros minutos de vida, logo após o nascimento, na sala de reanimação, podendo também ser utilizada na unidade de terapia intensiva (UTI) neonatal durante procedimentos, em intercorrências como na parada cardiorrespiratória, durante troca de ventiladores ou no transporte do recém-nascido.

A cada ano, aproximadamente 136 milhões de crianças nascem. Estima-se que cerca de 90% fazem a transição da vida intrauterina para a vida extrauterina sem necessidade de qualquer intervenção³¹.

Aproximadamente 85% dos recém-nascidos a termo iniciam respirações espontâneas dentro de 10 segundos a 30 segundos de nascimento. Entre 3% e 6% necessitam de ventilação com pressão positiva para iniciar respiração espontânea e menos de 1% requerem reanimação avançada, incluindo intubação, compressões torácicas e medicamentos²⁷. A ventilação adequada é considerada o ponto crítico para o sucesso da reanimação. Os dois sinais vitais utilizados para identificar a necessidade de uma intervenção, bem como para avaliar a resposta às intervenções são a frequência cardíaca (FC) e a frequência respiratória (FR). Sendo assim, após os cuidados para manter a temperatura e permeabilidade das vias aéreas após o nascimento, a presença de apneia, respiração irregular e/ou $FC < 100$ batimentos/minuto, indicam a necessidade de ventilação por pressão positiva logo nos primeiros 60 segundos de vida (*Golden Minute*)³².

1.5.2 Como é feita?

Na literatura os principais dispositivos que permitem a realização da ventilação manual, seja através da máscara facial, da cânula traqueal ou ainda através do uso de máscara laríngea são o balão autoinflável, o balão inflável a fluxo e o ventilador mecânico manual em T (Peça T). Por outro lado, ainda não existe um consenso sobre qual o dispositivo seja o ideal, levando-se em conta as suas características de funcionamento, a facilidade de manipulação pelo operador, a necessidade ou não de fluxo de gás para a operação e o custo. De modo geral, acredita-se que o dispositivo utilizado para ventilação manual deva fornecer PEEP, para facilitar o estabelecimento

da CRF imediatamente após o nascimento, melhorar a oxigenação e reduzir o risco de atelectrauma²¹.

O balão autoinflável é, há muitos anos, o equipamento mais utilizado para oferecer suporte ventilatório manual a recém-nascidos. A literatura demonstra que aproximadamente 83% a 92% dos centros ao redor do mundo o utilizam³³ (Figura 3).

Figura 3 - Desenho representativo do balão autoinflável (O₂: fluxo de oxigênio)[†]

Este equipamento de ventilação manual é de baixo custo e fácil manipulação, após compressão o balão se reexpande através do seu próprio recuo elástico. É o único equipamento de ventilação manual para uso em sala de parto que não necessita de fonte de gás para o seu funcionamento, por esse motivo é recomendado que esteja sempre disponível em todos nascimentos^{34,35}. O balão autoinflável é comumente utilizado ligado a uma fonte de oxigênio, ofertando FiO₂ de aproximadamente 100%. A oferta de concentrações intermediárias varia de acordo com o fabricante, o fluxo de

[†] Imagem cedida pela Dra. Cristiane do Prado, em 2017.

oxigênio de entrada, o volume corrente, a pressão de compressão exercida no balão, o tempo de compressão e a frequência aplicada^{35,36}. O equipamento não permite fornecer pressão positiva contínua nas vias aéreas (CPAP) nem PEEP confiável, embora alguns modelos permitam a adaptação de uma válvula de PEEP³⁴.

A pressão inspiratória máxima fornecida é limitada por uma válvula de segurança (válvula “pop-off”) que é ajustada pelo fabricante para ser ativada a 40 cmH₂O, no entanto vários estudos demonstram uma grande inconsistência e variabilidade na limitação da pressão inspiratória^{33,36}.

O balão inflável a fluxo necessita de uma fonte de gás para seu funcionamento, não apresenta válvula de segurança e pode gerar picos de pressão inspiratória muito elevadas. Este equipamento permite fornecer PEEP ou CPAP (embora forneça pressões muito inconstantes), controlando o fluxo de gás de entrada e a taxa de escape na válvula de saída de gás. Para controle e monitoramento do pico de pressão inspiratória e da PEEP, é indicado o uso de um manômetro de pressão. Uma desvantagem do balão inflável a fluxo é a variabilidade de pressão inspiratória e da PEEP durante a ventilação, necessitando de adequada experiência e nível de treinamento^{37,38}.

O controle do fluxo precisa ser cuidadosamente modulado para se manter uma PEEP apropriada durante a expiração. A variação do fluxo pode fazer com que a PEEP seja muito elevada, ou muito baixa. Além disso, se a máscara facial não estiver bem ajustada, permitindo vazamentos ao redor dela ou se o fluxo de entrada for muito baixo, o balão pode entrar em colapso, não sendo possível realizar a ventilação^{37,38}.

A Peça T é um dispositivo mecânico, que contém uma caixa metálica com um manômetro, controlado a fluxo e limitado a pressão, projetado especificamente para ressuscitação neonatal³⁹. Ela é composta por seis componentes: via de entrada de gás, que pode ser proveniente de blender ou mistura ar/oxigênio direto da rede; via de saída para o paciente; controle de pressão inspiratória; controle de limite de pressão inspiratória máxima (válvula de segurança); tubo T com válvula de PEEP (válvula de torção) e manômetro para monitorar a PIP e a PEEP³¹ (Figura 4).

Figura 4 - Desenho representativo da Peça T (Pmáx: pressão inspiratória máxima; PIP: pressão inspiratória; PEEP: pressão expiratória final positiva; O₂: fluxo de oxigênio)[‡]

As pressões inspiratórias são entregues por oclusão da Peça T e a PEEP pode ser ajustada usando a válvula de torção na sua parte superior. Além de permitir ao operador ajustar tanto a PIP como a PEEP, a Peça T garante um volume corrente, PIP e PEEP adequados e constantes,

[‡] Imagem cedida pela Dra. Cristiane do Prado, em 2017.

independente da experiência e do nível de treinamento do operador que estiver manipulando o equipamento³⁴.

Em um estudo publicado em 2004 incluindo 46 unidades de terapia intensivas neonatais em 23 países, observou-se que em alguns centros mais de um dispositivo é utilizado para a realização da ventilação manual na reanimação ou durante o transporte do recém-nascido, que depende da escolha do neonatologista. O balão autoinflável foi o dispositivo mais utilizado nos centros pesquisados (33 centros - 83%), seguido do balão inflável a fluxo (10 centros - 25%), sendo que neste estudo a Peça T era utilizada em apenas um centro (10%)³³.

Esse número é bastante variável na literatura, em outro estudo publicado, foram enviados questionários a todos os diretores neonatais listados no diretório de neonatologistas e perinatologistas da *American Academy of Pediatrics*, nos Estados Unidos, em 2002. Os respondentes eram dos 50 estados, o equipamento mais utilizado na sala de reanimação foi o balão inflável a fluxo (51%), seguido do balão autoinflável (40%) e da Peça T (14%). Para o transporte da sala de reanimação até a UTI neonatal o equipamento mais utilizado para realizar ventilação manual com pressão positiva continuava sendo o balão inflável a fluxo (44%), seguido do balão autoinflável (32%) e dos ventiladores de transporte (24%)⁴⁰.

1.5.3 Quem faz?

A ventilação manual é realizada por diferentes profissionais, seja na sala de parto, na UTI neonatal ou durante o transporte de prematuros.

No Brasil, segundo diretriz do Ministério da Saúde, o atendimento ao recém-nascido em sala de parto deve ser realizado por profissional médico (de preferência neonatologista ou pediatra) e enfermeiros, esses profissionais devem ser capacitados em reanimação neonatal através de treinamento teórico-prático específico. Na UTI neonatal ou durante o transporte intra ou inter-hospital a ventilação manual, quando empregada, pode ser realizadas por médicos, médicos-residentes, enfermeiras ou fisioterapeutas, também com diferentes níveis de treinamento para este fim⁴¹.

Na Austrália e na Nova Zelândia a reanimação e o cuidado ao prematuro são realizados pela equipe médica e de enfermagem, devidamente treinados através de curso regular de reanimação a um nível adequado de suas habilidades clínicas, segundo *ANZCOR Guideline*⁴².

Na Europa o *European Council Guidelines for Resuscitation 2015* determina que cada instituição deve ter seu protocolo nos casos de partos de risco, devendo ser acionada uma equipe especializada com antecedência, se possível, sendo assim cada profissional deve ter a sua atribuição de função pré-definida. Os profissionais incluídos nesse time são da equipe médica e da equipe de enfermagem⁴³.

Nos Estados Unidos as recomendações são guiadas pela *American Heart Association Guidelines for Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care*, que inclui equipe médica e de enfermagem,

sendo que todo nascimento deve ser atendido por pelo menos uma pessoa que pode realizar as etapas iniciais da ressuscitação do recém-nascido e ventilação manual se necessário, e cuja única responsabilidade é cuidar do recém-nascido. Na presença de fatores de risco perinatais significativos que aumentam a probabilidade de ressuscitação, pessoas adicionais com habilidades de ressuscitação, incluindo compressões torácicas, intubação endotraqueal e inserção de cateter de veia umbilical, devem estar imediatamente disponíveis⁴⁴.

Sendo assim, diferentes profissionais podem realizar a ventilação manual nos recém-nascidos utilizando diferentes dispositivos o que pode interferir na eficácia da ventilação.

1.5 Hipótese

Atualmente existem diferentes dispositivos disponíveis para a ventilação manual de recém-nascidos, sendo utilizados de rotina na ressuscitação em sala de parto, no manejo do recém-nascido durante a internação na UTI neonatal ou no transporte. Embora estudos anteriores indiquem que a Peça T oferece PIP e PEEP mais consistentes e com menor variabilidade⁴⁵, muitos centros utilizam ainda o balão autoinflável ou o balão inflável a fluxo⁴⁰. Na literatura ainda não existe um consenso sobre qual o melhor dispositivo para a realização da ventilação manual. Por outro lado, os dispositivos podem ser manipulados por médicos, enfermeiros ou fisioterapeutas e estudos demonstram que o nível de treinamento ou a experiência do operador pode influenciar na eficácia da ventilação⁴⁶.

Assim, foi elaborada a hipótese de que a Peça T, um equipamento que permite limitar o pico de PIP e o uso de PEEP, pode diminuir o risco de lesão pulmonar, alcalose respiratória ou hipocapnia em relação à ventilação manual utilizando o balão autoinflável, independente da formação profissional de quem opera o dispositivo.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Comparar, em coelhos adultos, os efeitos da ventilação manual utilizando balão autoinflável ou Peça T.
- Comparar, em coelhos adultos, os efeitos da ventilação manual realizada por diferentes profissionais envolvidos na assistência neonatal (médicos, enfermeiras e fisioterapeutas), utilizando balão autoinflável ou Peça T.

2.2 Objetivos Específicos

- Comparar, em coelhos adultos, os efeitos da ventilação manual utilizando balão autoinflável ou Peça T, sobre o volume corrente, o volume minuto, a pressão inspiratória, a PEEP, a frequência respiratória, o tempo inspiratório, o tempo expiratório, a PaCO_2 e o pH, assim como avaliar a influência da ventilação realizada por diferentes profissionais envolvidos na assistência neonatal (médicos, enfermeiras e fisioterapeutas) utilizando ambos equipamentos.

3 MÉTODOS

3.1 Profissionais voluntários e desenho do estudo

Foi realizado um estudo experimental, prospectivo, randomizado, utilizando coelhos adultos ventilados por voluntários, utilizando dois tipos de equipamentos de ventilação manual, investigando a influência do equipamento e de diferentes formações profissionais na eficácia da ventilação manual. A coleta dos dados foi realizada no Laboratório da Unidade de Pesquisa Experimental da Disciplina de Pediatria Neonatal do Departamento de Pediatria da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, Brasil. O estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo (número de protocolo 247/11) (Anexo A) e todos os pesquisadores e os participantes seguiram as normas de pesquisa em animais estabelecidas.

Foram recrutados 21 profissionais voluntários, 20 mulheres e um homem, para realizar a ventilação manual nos animais, utilizando dois dispositivos de ventilação manual normalmente utilizados na prática clínica no Brasil: a Peça T e o balão autoinflável.

Todos os profissionais estavam diretamente envolvidos na assistência a recém-nascidos, em dois hospitais (Instituto da Criança do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e Hospital Israelita Albert Einstein) e foram divididos em três grupos de estudo, de acordo com a formação profissional, representando a experiência em

ventilação manual na sua prática diária: sete médicos, sete fisioterapeutas e sete enfermeiras. Foi considerado que o grupo Médicos era formado por profissionais com maior experiência em ventilação manual, enquanto o grupo Enfermeiras apresentava a menor experiência, com base na atuação prática dos profissionais na UTI neonatal e na sala de reanimação em relação à ventilação manual de recém-nascidos. Nenhum voluntário foi excluído do estudo. O desenho esquemático do estudo é representado na Figura 5.

Figura 5 - Desenho esquemático do estudo

A partir de um questionário padronizado de entrevista, foram coletadas as informações referentes às características dos participantes do estudo, incluindo: idade, sexo, ano de formatura, formação profissional, se possuía ou não título de especialista em neonatologia ou pediatria.

3.2 Manipulação dos animais

Coelhos adultos da raça New Zealand White foram pesados e sedados (injeção intramuscular de 10 mg/kg ketamina e 0,1 mg/kg acepromazina), a região anterior do pescoço de cada animal foi anestesiada (injeção subcutânea de xylocaina 2%) e foi realizada tricotomia. Posteriormente foi realizada passagem de cateter duplo lumen de 13 cm e 4 french (Intra Special Catheters, GmbH, Saarbrücken, Alemanha) na artéria carótida, para coleta de amostras de sangue para a realização da gasometria inicial (com o animal em respiração espontânea, antes do início da ventilação manual) e final (após 10 minutos de ventilação manual). Após a dissecação da traqueia, um tubo endotraqueal (Mallinckrodt™, Covidien, Colorado, Estados Unidos) de 3,5 mm ou 4,0 mm diâmetro interno, o que fosse mais apropriado, foi inserido e fixado com auxílio de cadarço. A temperatura corporal foi mantida entre 38,0 °C e 39,5 °C utilizando colchão térmico. Durante todo o estudo os animais foram mantidos em decúbito dorsal, com auxílio de uma calha metálica.

3.3 Ventilação dos animais

Foi solicitado a cada profissional voluntário que ventilasse dois animais, durante 10 minutos cada, utilizando, em cada uma das ventilações, um dos dois equipamentos de ventilação manual: Peça T (BabyPuff®, Fanem Ltda, São Paulo, Brasil) ou balão autoinflável, com capacidade de 300 mL, sem válvula de PEEP (LIFESAVER®, Disposable Neonatal Manual Resuscitation Bag, Teleflex Medical, Research Triangle Park, North Caroline, USA), com válvula limitadora de pressão a 40 cmH₂O.

Um total de 42 animais foram utilizados, nenhum animal foi excluído do estudo. O dispositivo utilizado na primeira ventilação foi randomizado por meio de sorteio. Inicialmente foi descrito o seguinte cenário para cada participante: “trata-se de uma simulação de um recém-nascido de termo com peso de nascimento aproximado de 3000 gramas, asfixiado, intubado e com indicação de ventilação manual. A ventilação deve ser realizada por um período de 10 minutos, sendo avaliado o volume corrente com base na expansão torácica”, que deveria ser adequada segundo o julgamento do voluntário, evitando a hiperexpansão torácica e visando uma ventilação “protetora” (Figuras 6 e 7).

Figura 6 - Voluntário realizando a ventilação manual utilizando a Peça T

Figura 7 - Voluntário realizando a ventilação manual utilizando o balão autoinflável

Os voluntários não tinham acesso aos dados de mecânica respiratória, que foram gravados por todo o período de ventilação com cada equipamento. Na ventilação utilizando a Peça T cada indivíduo escolheu o valor da PIP e da PEEP de acordo com a sua preferência, sendo utilizado um fluxo de gás de 7 L/min. A frequência respiratória, o tempo inspiratório e o tempo expiratório também foram de livre escolha. Na ventilação com balão autoinflável, a frequência respiratória e a PIP, também foram de livre escolha do operador.

Ao final de cada período de reanimação foi realizada a eutanásia dos animais através da administração intra-arterial de pentobarbital sódico, na dose de 100 mg/kg, em bolo.

3.4 Monitorização da mecânica respiratória e obtenção dos dados gasométricos

Após a realização da traqueostomia cada animal foi conectado a um sistema informatizado de aquisição de dados, sendo a leitura da pressão ventilatória realizada através de um sensor de pressão (Validyne, modelo DP45-24), e o volume calculado através de um pneumotacógrafo (Hans Rudolph Inc., Kansas City, Estados Unidos), ambos calibrados e conectados a um software de aquisição de dados (Lab VIEW 5.1, National Instruments) desenvolvido especificamente para este fim (R. A. Eletro Sistemas LTDA, Campinas, Brasil) (Figura 8). O cálculo do volume foi realizado através da integração dos dados do fluxo, obtidos pelo pneumotacógrafo e do tempo.

Figura 8 - Detalhe da ventilação mostrando o pneumotacógrafo (seta) utilizado no estudo

A leitura dos parâmetros da mecânica ventilatória (volume corrente, volume minuto, PIP, PEEP, frequência respiratória, tempo inspiratório) foi realizada de modo contínuo a cada minuto a partir do início da ventilação até seu término, no décimo minuto (Figuras 9 e 10).

Figura 9 - Tela do sistema informatizado de aquisição de dados. Ventilação realizada com o balão autoinflável. A linha amarela corresponde à curva pressão-tempo, a linha vermelha a curva fluxo-tempo, que se repete abaixo na linha azul. Abaixo da tela, tem-se o cálculo de tempos, volumes e frequência respiratória. Ti = tempo inspiratório, Te = tempo expiratório, Ttot = tempo total, Ti/Ttot = relação tempo inspiratório/tempo total, Vi – volume corrente inspiratório, Ve = volume corrente expiratório, V.min = volume minuto, RR bpm = frequência respiratória incursões por minuto, R = resistência, E = elastância. Na lateral direita, o número em amarelo corresponde ao tempo de aquisição de dados de cada voluntário, abaixo o volume corrente em mL.

Figura 10 - Tela do sistema informatizado de aquisição de dados. Ventilação realizada com a Peça T. A linha amarela corresponde à curva pressão-tempo, a linha vermelha a curva fluxo-tempo, que se repete abaixo na linha azul. Abaixo da tela, tem-se o cálculo de tempos, volumes e frequência respiratória. Ti = tempo inspiratório, Te = tempo expiratório, Ttot = tempo total, Ti/Ttot = relação tempo inspiratório/tempo total, Vi = volume corrente inspiratório, Ve = volume corrente expiratório, V.min = volume minuto, RR bpm = frequência respiratória incursões por minuto, R = resistência, E = elastância. Na lateral direita, o número em amarelo corresponde ao tempo de aquisição de dados de cada voluntário, abaixo o volume corrente em mL.

Foram obtidas amostras sanguíneas do cateter arterial para a determinação da gasometria arterial (IStat[®] - Abbott laboratory- Ross Company; Estados Unidos) para avaliação do pH e da PaCO₂ arterial antes do início (com o animal em respiração espontânea e não traqueostomizado) e ao término de cada ventilação manual (Figura 11). Após a primeira coleta de sangue arterial, com o animal sob respiração espontânea, foi realizada a traqueostomia seguido de curarização com pancurônio (0,1 mg/kg, intra-arterial) e iniciada a ventilação manual. A segunda amostra de sangue foi coletada imediatamente após o término do período de 10 minutos de ventilação.

Figura 11 - Equipamento utilizado para a realização da gasometria

3.5 Análise Estatística

Foi realizada, para cada parâmetro da mecânica respiratória durante a ventilação manual, uma comparação direta entre os dois equipamentos utilizados, sem levar em consideração a formação profissional dos indivíduos. Para esta análise a comparação entre os dados contínuos foi realizada utilizando-se o teste “t” e Student ou Kruskal-Wallis (para dados não paramétricos). As variáveis categóricas foram comparadas através do teste do Qui-Quadrado ou do teste exato de Fisher, conforme o mais adequado. Em seguida foi realizada a análise da eficácia dos equipamentos levando-se em conta a formação dos participantes divididos em três grupos: médicos, fisioterapeutas e enfermeiras. As comparações entre os dados contínuos (mecânica respiratória e valores de gases sanguíneos) foram

realizadas através de ANOVA One-Way, sendo utilizado o Student-Newman-Keuls como pós-teste discriminatório. O teste de ANOVA em Ranks foi utilizado para dados não paramétricos. O nível de significância adotado foi de 0,05. As variáveis categóricas foram analisadas utilizando-se o teste do Qui-Quadrado.

A amostra calculada para se detectar, com um poder de teste de 0,8, um nível de significância de 0,05, uma diferença entre o volume corrente entre os grupos de estudo da ordem de 1,6 mL, considerando um desvio padrão da ordem de 1,0 mL, foi de sete indivíduos em cada grupo.

4 RESULTADOS

As características dos voluntários que participaram do estudo são descritas na Tabela 1. O grupo Médicos apresentou uma maior média de idade em relação aos outros dois grupos estudados. Observou-se uma predominância do sexo feminino nos três grupos, sendo apenas um homem no grupo Médicos.

Tabela 1 - Principais características dos profissionais voluntários. Resultados são expressos em média (mínimo-máximo) ou n (%)

	Médicos (n = 7)	Fisioterapeutas (n = 7)	Enfermeiras (n = 7)	p
Idade (anos)	40 (28-54)*	29 (26-31)	34 (29-45)	0,028
Mulheres	6 (85,7%)	7 (100%)	7 (100%)	0,350
Tempo de formado (anos)	15 (4-31)	7 (5-10)	10 (6-20)	0,086
Especialização em pediatria (n-%)	6 (85,7%)	4 (57,1%)	4 (57,1%)	0,424
Especialização em neonatologia (n-%)	5 (71,4%)	3 (42,9%)	7 (100%)	0,112

* $p \leq 0.05$ Grupo Médicos x Grupo Fisioterapeutas, ANOVA One Way

Em relação ao tempo de formado, foram encontrados indivíduos com maior tempo de formado no grupo Médicos, porém sem diferença estatística.

Todos os voluntários tinham especialização em neonatologia ou em pediatria, não havendo diferença entre os grupos.

Os resultados combinados dos 21 voluntários utilizando cada equipamento (balão autoinflável e a Peça T) em relação à mecânica respiratória e aos valores gasométricos são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores combinados de mecânica respiratória e gasometria dos 21 profissionais voluntários ventilando com o balão autoinflável e com a Peça T. Valores expressos em média±desvio padrão

	BAI (n = 21)	Peça T (n = 21)	p
Vt (mL/kg)	18,8±14,0	14,4±6,7	0,263
Vmin (mL/min)	798±531	415±166	0,003
PIP (cm H ₂ O)	19,6±6,3	17,8±2,8	0,406
PEEP (cm H ₂ O)	0,0±0,0	3,3±0,6	<0,001
FR (resp/min)	39,5±10,2	31,6±9,3	0,012
TI (seg)	0,4±0,1	0,9±0,3	<0,001
<i>pH (-logH⁺)</i>			
Inicial	7,40±0,07	7,40±0,06	0,872
Final	7,50±0,20	7,37±0,09	0,014
<i>PaCO₂ (mmHg)</i>			
Inicial	36,5±7,4	34,9±4,6	0,415
Final	31,7±16,2	36,8±10,7	0,250

BAI (balão autoinflável); Vt (volume corrente); Vmin (volume minuto); PIP (pressão inspiratória); PEEP (pressão expiratória final positiva); FR (frequência respiratória) e TI (tempo inspiratório).

Os animais ventilados com o balão autoinflável, apresentaram uma tendência a maiores valores de volume corrente, com o dobro da variabilidade porém sem diferença estatística. Em relação ao volume minuto, os animais ventilados com o balão autoinflável apresentaram valores maiores de volume minuto com o triplo da variabilidade, avaliada pelo desvio-padrão, quando comparados aos animais ventilados com a Peça T. A PIP foi semelhante nos dois grupos entre 17,8 cmH₂O e 19,6 cmH₂O com uma maior variabilidade (maior do que o dobro) quando ao balão autoinflável foi utilizado. Conforme o desenho do estudo, foi observada uma diferença nos valores de PEEP, com uma média de 3,3 cmH₂O para a Peça T e 0 cmH₂O para o balão autoinflável. Maior frequência respiratória e menor tempo inspiratório também foi encontrado com o uso do balão autoinflável.

Antes do estudo todos os animais apresentaram valores normais de pH e de PaCO_2 e, após 10 minutos de ventilação manual, foi observado alcalose respiratória nos animais ventilados com o balão autoinflável, sem diferenças nos valores de PaCO_2 .

Em relação a análise dos grupos de profissionais, a Peça T forneceu um volume menor do que o balão autoinflável, no entanto, o volume minuto foi significativamente diferente apenas quando aplicado por enfermeiros. O balão autoinflável forneceu valores de volume minuto ao redor de 700 mL/min com grande variabilidade. Já a Peça T apresentou um valor próximo a 400 mL/min com menor variabilidade (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Valores de volume minuto de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais

* p < 0,05 vs Peça T

O volume corrente apresentou uma grande variabilidade nos três grupos com uma tendência a valores mais elevados quando utilizado o balão autoinflável, quando foi utilizada a Peça T o volume corrente manteve-se na faixa de 12-13 mL/kg nos três grupos de profissionais, com menor variabilidade (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Valores de volume corrente de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais

A pressão inspiratória apresentou um comportamento semelhante ao volume corrente, com grande variabilidade nos animais ventilados com o balão autoinflável, sem diferenças quando comparada com a Peça T em relação aos grupos estudados (Gráfico 3). Conforme esperado, em todos os três grupos, foi observada uma diferença nos valores de PEEP, com uma média de 3,3 cmH₂O para a Peça T e 0 cmH₂O para o balão autoinflável.

Gráfico 3 - Valores de pressão inspiratória de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais

A frequência respiratória foi mantida em valores de 25 a 45 respirações por minutos nos três grupos, com tendência a menores valores quando a Peça T foi utilizada, porém sem diferenças entre os equipamentos (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Valores de frequência respiratória de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais

O tempo inspiratório foi maior nos animais ventilados com a Peça T, comparado com o balão autoinflável, nos três grupos profissionais (Gráfico 5).

Gráfico 5 - Valores de tempo inspiratório de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos profissionais

Já em relação ao tempo expiratório, não foram observadas diferenças entre os diferentes grupos de profissionais, utilizando ambos dispositivos de ventilação manual (Gráfico 6).

Gráfico 6 - Valores de tempo expiratório de acordo com o tipo de equipamento utilizado na ventilação manual nos três grupos de profissionais

Antes da ventilação, ainda sob respiração espontânea, os animais dos três grupos apresentaram valores similares de PaCO_2 e pH, considerados dentro da normalidade para a espécie (Gráficos 7 e 8).

Gráfico 7 - Valores de PaCO₂ antes do início da ventilação manual nos três grupos de profissionais

Gráfico 8 - Valores de pH antes do início da ventilação manual nos três grupos de profissionais

Após 10 minutos de ventilação, os animais ventilados com o balão autoinflável nos grupos Fisioterapeutas e Enfermeiras apresentaram alcalose respiratória e hipocapnia em relação aos animais ventilados com a Peça T, porém essa diferença foi significativa somente no grupo Enfermeiras (Gráficos 9 e 10).

Gráfico 9 - Valores de PaCO_2 após 10 minutos de ventilação manual de acordo com o tipo de equipamento utilizado, nos três grupos de profissionais

Gráfico 10 - Valores de pH após 10 minutos de ventilação manual de acordo com o tipo de equipamento utilizado, nos três grupos de profissionais

5 DISCUSSÃO

Neste estudo, foi avaliado se dois dispositivos de ventilação manual utilizados na prática clínica, a Peça T e o balão autoinflável, produziram resultados diferentes de mecânica respiratória e avaliação gasométrica utilizando um modelo animal experimental. A comparação isolada dos resultados com a utilização dos dois equipamentos empregados neste estudo mostrou que a ventilação manual realizada com a Peça T resultou em menores valores de volume minuto e de tempo inspiratório em relação ao balão autoinflável. O uso deste último equipamento também resultou em alcalose respiratória e, embora se tenha observado uma redução da PaCO_2 da ordem de 14%, esta diferença não foi significativa. Além disso, foi avaliado se três diferentes grupos de profissionais (médicos, fisioterapeutas e enfermeiros) produziram resultados diferentes usando os dois equipamentos. O grupo Enfermeiras, caracterizado por uma menor experiência e menor formação técnica em assistência ventilatória de recém-nascidos, apresentou maior volume minuto e menor PaCO_2 ao final de 10 minutos de ventilação manual com o uso do balão autoinflável em relação à Peça T.

Estudos experimentais demonstraram que o volutrauma pode ocorrer quando se utilizam volumes correntes elevados, particularmente quando não se utiliza PEEP, mesmo quando os níveis de PIP são baixos¹¹. Na análise

agrupada de todos os indivíduos foram observados valores maiores de volume minuto nos animais ventilados com o balão autoinflável em relação a Peça T. Já na análise entre os grupos de diferentes profissionais, foram observados valores mais altos de volume minuto em enfermeiras que ventilaram com o balão autoinflável, mas não com a Peça T. A mesma tendência foi observada nos demais grupos, sugerindo uma relativa superioridade deste equipamento em relação ao balão autoinflável quando utilizado por profissionais menos experientes, porém estes efeitos não alcançaram significância.

Estudos recentes observaram que, recém-nascidos que foram ressuscitados com a Peça T, tiveram um tempo menor de ventilação com pressão positiva em sala de parto em comparação com balão autoinflável, apresentaram menor taxa de intubação, menores pressões máximas aplicadas e ainda maior índice de sucesso de ressuscitação em ar ambiente⁴⁷⁻⁵⁰.

Takur *et al.*⁴⁷ elaboraram um ensaio clínico aleatório com prematuros maiores que 26 semanas para comparar o tempo de duração da ventilação manual em sala de parto com balão autoinflável e com a Peça T. Eles observaram maior tempo de ventilação e maior necessidade de intubação no balão autoinflável, e maior sucesso na ressuscitação em ar ambiente na Peça T, e ainda menor necessidade de ventilação não invasiva nos prematuros com menos de 34 semanas de gestação que utilizaram a Peça T. Neste estudo não foram analisados os parâmetros de mecânica respiratória e gasométricos relacionados à ventilação manual.

De modo diverso ao encontrado no presente estudo, em uma publicação de 2013, Jayaram *et al.*⁵¹ compararam os dois dispositivos em relação à resposta geral à ressuscitação de prematuros com menos de 35 semanas de gestação. Eles concluíram que embora a Peça T ofereça vantagens sobre o balão autoinflável em relação a capacidade de fornecer pressão de distensão contínua e pressões inspiratórias mais regulares, ambos dispositivos são adequados para a realização da ventilação manual, sem diferenças na eficácia da ventilação e nos resultados clínicos imediatos, considerando o Boletim de Apgar como variável principal. Neste estudo também não foram analisados os parâmetros de mecânica respiratória ou gasométricos relacionados à ventilação manual.

Os benefícios da utilização da PEEP na ressuscitação do prematuro estão bem estabelecidos na literatura. Entre seus muitos benefícios, a PEEP leva a uma melhor troca gasosa e oxigenação⁵², preserva a função do surfactante²², reduz a formação da membrana hialina⁵³, otimiza o volume pulmonar⁵⁴, diminui o colapso alveolar²¹, melhora a complacência pulmonar²² e reduz a expressão de mediadores inflamatórios⁵⁴. Neste sentido, a manutenção de um valor de PEEP adequado durante a ventilação manual se torna importante para otimizar o efeito desta estratégia ventilatória. Foi observado no presente estudo que os animais ventilados com a Peça T, portanto com a utilização da PEEP, apresentaram resultados melhores em relação aos animais ventilados com o balão autoinflável, na qual não foi utilizada PEEP.

Foi demonstrado que pode ocorrer uma variação dos valores da PEEP durante a ventilação utilizando a Peça T. Finer *et al.*⁵⁵ avaliaram durante um período de tempo, de 2009 a 2010, vídeos e áudios de centenas de ressuscitações e observaram uma variação inadvertida de PEEP durante o procedimento, sem que o operador notasse, essas mudanças ocorriam com frequência quando o dispositivo estava sendo colocado e ajustado na face do recém-nascido ou durante movimentação da cabeça para manter via aérea pérvia, para aspiração ou intubação. Eles concluíram que o dispositivo em Peça T que tem o ajuste para o nível de PEEP e o orifício ocluído para fornecer insuflação no mesmo local, pode causar aumento inadvertido de PEEP que pode não ser notado pelo operador.

Em estudo realizado por Dawson *et al.*⁵⁶, foi comparado balão autoinflável, balão inflável a fluxo e a Peça T na capacidade de prover PEEP e encontraram que todos os participantes eram capazes de prover PEEP com os três dispositivos, porém a Peça T foi a mais precisa. Foi observado através da análise dos dados nesse presente estudo que com o uso da Peça T ocorreu uma variabilidade (intragrupo) no valor da PEEP medida da ordem de 12 a 25%, sendo maior no grupo Médicos, o grupo teoricamente com uma maior experiência no uso da Peça T, com um valor de desvio-padrão de aproximadamente 1 cmH₂O.

Um dos fatores que podem ter contribuído para esta variabilidade foi o tempo inspiratório empregado na ventilação manual. A literatura demonstra que a Peça T pode exigir um tempo inspiratório mais elevado, pois requer um maior tempo de latência para a obtenção da pressão expiratória alvo⁴⁵,

provavelmente relacionado à resistência ao fluxo de saída de ar imposta pela válvula expiratória, que resulta em aumento da constante de tempo expiratório. Foram observados tempos inspiratórios mais elevados nos três grupos de estudos quando utilizavam a Peça T em relação ao balão autoinflável, no entanto, o menor tempo expiratório foi encontrado no grupo Médicos, o que pode ter contribuído para a maior variabilidade da PEEP aferida neste grupo.

Também é importante destacar que, no contexto estressante de ressuscitação ou de outras situações de emergência, há um risco teórico de usar tempos inspiratórios inadequados, o que pode estar associado a um aumento da incidência de extravazamentos de ar, como pneumotórax, enfisema pulmonar intersticial e pneumomediastino⁴⁶.

McHale *et al.*⁴⁶ avaliaram a ventilação gerada pela Peça T em relação ao tempo inspiratório, frequência respiratória, volume corrente e volume minuto, por operadores com diferentes níveis de experiência e os efeitos de técnicas de distração sobre esses parâmetros. Os operadores, com diferentes níveis de treinamento, eram membros da equipe da unidade de cuidados intensivos neonatais de uma maternidade terciária afiliada a uma universidade. Os participantes foram informados de que se tratava de uma ressuscitação simulada de um recém-nascido prematuro, realizada com o auxílio de um pulmão teste, conectados a um analisador de fluxo de gás (pneumotacógrafo), e que os participantes da pesquisa estavam sob observação direta de dois dos observadores em todos os momentos. Eles foram então orientados para ventilar o pulmão de teste com uma de PIP 20 cmH₂O, PEEP 5 cmH₂O e FR 40

ciclos/min. Após 2 minutos de ventilação foi adicionado um fator de distração, com questões padronizadas relacionadas à ressuscitação. Eles observaram que apesar do uso da Peça T permitir PIP e PEEP constantes, operadores menos experientes, mesmo antes de adicionar os fatores de distração, utilizavam tempo inspiratórios prolongados ($1,1 \pm 0,16$ seg). Já os operadores mais experientes, apresentaram tempos inspiratórios mais curtos e com menores variações ($0,42 \pm 0,13$ seg). Por outro lado demonstram que todos os operadores, mesmo os mais experientes apresentaram alterações significativas no tempo inspiratório, volume minuto, volume corrente e FR quando expostos a fatores de distração. Embora no presente estudo não tenha sido introduzido nenhum fator de distração, a variabilidade do tempo inspiratório foi maior do que a encontrada por McHale *et al.*⁴⁶, da ordem de 0,28 seg com o uso da Peça T (considerando os resultados agrupados dos três grupos), sendo de 0,38 seg no grupo Enfermeiras.

É importante ressaltar que diferentes profissionais realizam a ventilação manual no recém-nascido, atualmente ela pode ser realizada pelo neonatologista, médico-residente, pediatra, anestesista, enfermeira e fisioterapeuta. Todos os profissionais avaliados nesse presente estudo podem aplicar ventilação manual na sala de parto, na UTI neonatal ou no transporte do recém-nascido, se necessário. As diferenças entre os participantes deste estudo foram baseadas em sua formação profissional, que automaticamente determina diferentes níveis de experiência em ventilação manual de recém-nascidos, sendo presumidamente maior no grupo Médicos, seguido do grupo Fisioterapeutas e menor no grupo Enfermeiras.

Foi observado que no grupo Enfermeiras ocorreu um risco teoricamente maior de ocorrência de lesões pulmonares quando a ventilação manual era realizada com o balão autoinflável, uma vez que neste grupo foi observado maior volume minuto e hipocapnia, enquanto que a ventilação com a Peça T era realizada de forma mais homogênea entre todas as categorias profissionais. Esta informação confirma a observação de estudos prévios que demonstram que a ventilação manual com a Peça T resulta em um volume corrente, PIP e PEEP mais confiáveis e constantes, resultando em menor estiramento e consequente menor dano alveolar^{57,58} independente do operador que o manipula¹⁸. Isto pode ser explicado em parte pelo fato de que com o balão autoinflável, o pico de pressão inspiratória, o tempo inspiratório e a frequência respiratória, que afetam o volume corrente e o volume minuto, permanecem sob controle do operador e são mais suscetíveis a variações. Em contraste, a Peça T, oferece pressões com menor variabilidade, independentemente do grau de experiência do operador⁴⁵. Os resultados aqui encontrados estão de acordo com observações anteriores de que a Peça T fornece picos de pressão inspiratória mais precisos e consistentes, independente da formação profissional do operador que realiza a ventilação^{51,59}.

Finer *et al.*⁴⁸, em 2001, publicaram um dos primeiros estudos comparativos entre dispositivos de ventilação manual, balão autoinflável, balão inflável a fluxo e Peça T, realizada por diferentes operadores em relação a capacidade de gerar PIP e PEEP estáveis. Eles avaliaram a ventilação por máscara facial, em um manequim neonatal conectado a um transdutor de fluxo, com monitorização contínua dos dados de pressão e

volume. Foram selecionados enfermeiros neonatais, neonatologistas, médicos em especialização em neonatologia (*fellows*), médicos-residentes de pediatria e terapeutas respiratórios. Os diferentes profissionais deveriam realizar a ventilação por máscara facial durante 30 segundos com PIP 25 cmH₂O, PEEP 5 cmH₂O e FR 30 ciclos/min. Os terapeutas respiratórios foram capazes de manter PIP e PEEP mais consistentes em todos os dispositivos, em relação aos demais profissionais. Porém quando avaliaram as ventilações com a Peça T todos os operadores foram capazes de gerar PIP e PEEP mais consistentes, sugerindo que a Peça T facilita a administração da pressão desejada, reduzindo as diferenças de experiência entre as diferentes categorias profissionais. Os autores reforçam que na unidade estudada, os terapeutas respiratórios atendem a todos os partos de alto risco e, historicamente, assumiam um papel principal no fornecimento da ventilação manual por máscara facial durante a ressuscitação na sala de parto. Portanto sua capacidade de produzir pressões de pico mais consistentes e PEEP reflete sua exposição contínua, experiência e familiaridade com os dispositivos⁴⁸. Os resultados aqui demonstrados confirmam os achados deste estudo em relação ao fato de que a ventilação com a Peça T permite uma maior homogeneidade da ventilação mesmo quando realizada por profissionais de diferentes níveis de treinamento em ventilação manual. O grupo dos médicos foi considerado no presente estudo com o maior nível de experiência por ser eles os profissionais que mais realizam a ventilação manual, seguido dos fisioterapeutas, sendo que as enfermeiras foram consideradas as de menor nível de experiência por serem as profissionais que menos realizam este procedimento rotineiramente.

Por outro lado, mostrando resultados diferentes aos encontrados neste estudo, Roher *et al.*³⁴ avaliaram dois equipamentos e a influência da experiência profissional individual, sobre o volume corrente e o PIP aplicados durante a ventilação manual. Para isso foram selecionados 25 profissionais, incluindo pediatras, obstetras, anestesistas, enfermeiras neonatais e parteiras, que deveriam realizar a ventilação manual em um manequim utilizando dois dispositivos, o balão autoinflável e a Peça T, simulando um recém-nascido prematuro de muito baixo peso intubado. O sistema foi conectado a um pneumotacógrafo para avaliar o fluxo de gás, volumes e pressões aplicadas. Eles encontraram uma grande variabilidade de volume corrente e de PIP quando a ventilação manual era realizada utilizando-se o balão autoinflável, já o uso da Peça T garantiu volume corrente e PIP constantes e confiáveis, independentemente das variáveis individuais dependentes do operador, concluindo que a experiência profissional não teve impacto significativo na provisão de volume corrente e PIP com o uso deste dispositivo.

Em outro estudo publicado posteriormente, Roher *et al.*¹⁸ investigaram a influência do treinamento do operador na provisão de volume corrente e PIP, comparando o balão autoinflável e a Peça T utilizando o mesmo modelo descrito anteriormente, porém neste estudo foi administrado uma dose de surfactante. Foi solicitado aos diferentes grupos de profissionais (pediatras, anestesistas, enfermeiras neonatais e parteiras) que realizassem ventilação manual com uma PIP 20 cmH₂O e PEEP 5 cmH₂O com FR 60 ciclos/minuto por um período de três minutos com cada dispositivo, o critério para adequada

ventilação era a expansão torácica. O sistema era conectado a um pneumotacógrafo para avaliação da mecânica respiratória e a gravação dos dados foi cega para os operadores. A população estudada era formada por neonatologistas, anestesista, enfermeiras neonatais e parteiras, divididos de acordo com o nível de treinamento. Para determinar os diferentes níveis de treinamento foi realizada entrevista padronizada, informações referentes à participação prévia em programas específicos de reanimação e/ou treinamento prático de ventilação manual com o balão autoinflável e/ou com a Peça T, e ainda com e sem uso de manômetros. A partir dessas informações os grupos foram divididos em quatro níveis de treinamento. Os autores encontraram uma grande variabilidade nos valores de volume corrente e PIP entre todos os grupos estudados quando o balão autoinflável foi utilizado. No entanto, quanto maior o nível de experiência com ventilação manual, melhor a aderência à PIP alvo. Por outro lado a Peça T forneceu a PIP alvo, com pequena variação de volume corrente independente do nível de treinamento, demonstrando uma correlação entre o nível de treinamento do operador com a PIP e o volume corrente gerado quando se usa o balão autoinflável, mas não com a Peça T. Esta observação está de acordo com os resultados encontrados no presente estudo e possui grande relevância, pois em muitos países, a ventilação manual do recém-nascido, na sala de parto ou na UTI neonatal (durante a troca de ventilador ou em algumas situações de emergência), bem como durante o transporte, pode ser realizada por vários tipos de profissionais, incluindo médicos, fisioterapeutas e enfermeiros, com diferentes graus de treinamento em assistência ventilatória.

Reforçando a ideia de que é importante avaliar os equipamentos utilizados na ventilação manual com o objetivo de minimizar as diferenças de performance entre diferentes profissionais, Schmolzer *et al.*⁶⁰ realizaram uma revisão da prática clínica na reanimação neonatal por meio de vídeos e de um monitor de mecânica respiratória durante a reanimação dos recém-nascidos e em estudos realizados com manequim durante um período de seis anos no *Royal Women's Hospital*, em Melbourne, Austrália. Os autores concluíram que mesmo profissionais experientes não eram capazes de fornecer um volume corrente adequado durante a ventilação manual, nem de avaliar corretamente o grau de vazamento ao redor da máscara. Estas observações reforçam a importância dos dados do presente estudo, de que o uso de um equipamento que reduza a variação da ventilação observada entre profissionais de diferentes níveis de experiência em ventilação manual pode minimizar o impacto sobre os pulmões em relação a volumes correntes excessivos e à possibilidade de ocorrência de hipocapnia durante a ventilação.

A hipocapnia pode ser causada pela ventilação com o uso de volumes correntes ou frequências respiratórias excessivas, ambos levando a um maior volume minuto. Durante a pesquisa do presente trabalho, não foram encontrados estudos que comparem os efeitos de diferentes dispositivos de ventilação sobre os níveis de PaCO_2 . Foi observado nesse estudo que os animais ventilados com o balão autoinflável desenvolveram alcalose respiratória no grupo Enfermeiras. O grupo Fisioterapeutas mostrou uma tendência não significativa na mesma direção, e o grupo Médicos não

mostrou nenhuma diferença. Assim, a Peça T foi utilizada de forma eficiente por todos os profissionais, e as análises descrevem a diferença entre os dois dispositivos em termos de níveis de PaCO_2 , confirmando que o balão autoinflável (e não a Peça T) pode levar a hipocapnia.

Este estudo tem algumas limitações. Embora os coelhos adultos não imitem a fisiologia da transição pulmonar, especialmente no nascimento prematuro, este modelo animal foi utilizado pois o peso corporal do coelho adulto é comparável a um recém-nascido a termo humano. As alterações de mecânica pulmonar e alterações gasométricas secundárias à ventilação manual são ainda semelhantes às observadas em situação real. Além disso, a ventilação manual é necessária não só na sala de parto, mas também na UTI neonatal e durante o transporte, permitindo que este modelo seja usado para simular a ventilação manual em recém-nascidos, como foi utilizado anteriormente⁶¹.

6 CONCLUSÕES

Neste modelo experimental com coelhos adultos, 10 minutos de ventilação manual com balão autoinflável resultaram em hipocapnia e alcalose respiratória no grupo Enfermeiras, o que foi evitado com ventilação utilizando a Peça T. Nos outros grupos de profissionais, fisioterapeutas e médicos, não foram encontradas diferenças em relação aos dois equipamentos.

A ventilação manual usando a Peça T também resultou em menores valores de volume corrente e volume minuto em comparação com a ventilação com balão autoinflável.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Especula-se que a Peça T pode resultar em ventilação adequada, mesmo quando utilizada por profissionais com menos treinamento em ventilação manual. Os profissionais de saúde devem ser adequadamente treinados no uso do dispositivo disponível em seus departamentos e estar cientes de suas próprias limitações. Nos casos em que a Peça T não está disponível, as instituições podem considerar a implementação de programas de treinamento que podem ajudar os profissionais a melhorar o uso do balão autoinflável e reduzir o risco de hipocapnia e altos volumes.

Anexo A - Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

APROVAÇÃO

O Coordenador da CEUA do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em **29.07.2011**, após atendimento a diligência encaminhada **APROVOU *ad-referendum*** o Protocolo de Pesquisa nº **247/11** intitulado: **"Influência da formação profissional associada a diferentes métodos de ventilação manual sobre a mecânica respiratória utilizando coelhos adultos."** que utilizará **42 Coelhos da raça New Zealand-White**, apresentado pelo Departamento de Pediatria.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar ao CEP-FMUSP, o relatório final sobre a pesquisa, (Lei Procedimentos para o Uso Científico de Animais - Lei No 11.794 -8 de outubro de 2008).

Pesquisador (a) Responsável: Celso Moura Rebello

Pesquisador (a) Executante: Luciana Branco Haddad

CEP-FMUSP, 29 de julho de 2011.

Dr. Eduardo Pompeu
Coordenador
Comissão de Ética no Uso de Animais

Prof. Dr. Roger Chammas
Coordenador
Comitê de Ética em Pesquisa

Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
Av. Dr. Arnaldo, 455 – Instituto Oscar Freire, 1º andar CEP 01246-903 – Fone : 3061-8004
mail: cep.fmusp@hcnnet.usp.br

9 REFERÊNCIAS

1. Patel MP, Kandefer S, Walsh MC, Bell EF, Carlo WA, Laptook AR, Sánchez PJ, Shankaran S, Van Meurs KP, Ball B, Hale EC, Newman NS, Das A, Higgins RD, Stoll BJ. Causes and timing of death in extremely premature infants from 2000 through 2011. *N Engl J Med*. 2015; 372:331-40.
2. Younge N, Goldstein RF, Bann CM, Hintz SR, Patel RM, Smith PB, Bell E, Rysavy MA, Duncan A, Vohr BR, Das A, Goldberg RN, Higgins RD, Cotton M. Survival and neurodevelopmental outcomes among periviable infants. *N Engl J Med*. 2017; 376:627-28.
3. Young N, Smith B, Gustafson KE, Malcolm W, Ashley P, Cotten M, Goldberg RN, Goldstein RF. Improved survival and neurodevelopmental outcomes among extremely premature infants born near the limit of viability. *Early Hum Dev*. 2016; 95:5-8.
4. Stoll BJ, Hansen NI, Bell EF, Walsh MC, Carlo WA, Shankaran S, Laptook AR, Sánchez PJ, Van Meurs KP, Wyckoff M, Das A, Hale EC, Ball MB, Newman NS, Schibler K, Poindexter BB, Kennedy KA, Cotten CM, Watterberg KL, D'Angio CT, DeMauro SB, Truog WE, Devaskar U, Higgins RD. Trends in care practices, morbidity, and mortality of extremely preterm neonates, 1993-2012. *JAMA*. 2015; 314(10):1039-51.

5. Pavez CGA. Comparação da mortalidade e morbidade de recém-nascidos de muito baixo peso do Hospital Israelita Albert Einstein e da Rede Vemont Oxford. [Dissertação]. São Paulo: Sociedade Beneficente Israelita Brasileira Albert Einstein; 2016.
6. Joshi S, Kotecha S. Lung growth and development. *Early Hum Dev.* 2007; 83(12):789-94.
7. Kotecha S. Lung growth for beginners. *Paediatr Respir Rev.* 2000; 1(4):308-13.
8. Kotecha S. Lung growth: implications for the newborn infant. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed.* 2000; 82(1):F69-F74.
9. Hislop AA. Airway and blood vessel interaction during lung development. *J Anat.* 2002; 201(4):325-34.
10. Jobe AH. An unknown lung growth and development after very preterm birth. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 166(12 Pt 1):1529-30.
11. Coalson JJ. Pathology of new bronchopulmonary dysplasia. *Semin Neonatol.* 2003; 8(1):73-81.
12. Burri PH. Structural aspects of postnatal lung development - Alveolar formation and growth. *Biol Neonate.* 2006; 89(4):313-22.
13. Mahoney AD, Jain L. Respiratory disorders in moderately preterm, late preterm, and early term infants. *Clin Perinatol.* 2013; 40(4):665-78.

14. Wada K, Jobe AH, Ikegami M. Tidal volume effects on surfactant treatment responses with the initiation of ventilation in preterm lambs. *J Appl Physiol*. 1997; 83(4):1054-61.
15. Auten RL, Vozzelli M, Clark RH. Volutrauma. What is it, and how do we avoid it? *Clin Perinatol*. 2001; 28(3):505-15.
16. Suguihara C, Lessa AC. Como minimizar a lesão pulmonar no prematuro extremo: propostas. *J Pediatr (Rio J.)*. 2005; 81(1 Supl):S69-S78.
17. Hillman NH, Moss TJM, Kallapur SG, Bachurski C, Pillow JJ, Polglase GR, Nitsos I, Kramer BW, Jobe AH. Brief, large tidal volume ventilation initiates lung injury and a systemic response in fetal sheep. *Am J Respir Crit Care Med*. 2007; 176(6):575-81.
18. Roehr CC, Kelm M, Proquitté H, Schmalisch G. Equipment and operator training denote manual ventilation performance in neonatal resuscitation. *Am J Perinatol*. 2010; 27(9):753-8.
19. Polglase GR, Hillman NH, Pillow JJ, Cheah FC, Nitsos I, Moss TJM, Kramer BW, Ikegami M, Kallapur SG, Jobe AH. Positive end-expiratory pressure and tidal volume during initial ventilation of preterm lambs. *Pediatr Res*. 2008; 64(5):517-22.
20. Carvalho CG, Silveira RC, Procianoy RS. Ventilator-induced lung injury in preterm infants. *Rev Bras Ter Intensiva*. 2013; 25(4):319-26.

21. Schmölzer GM, te Pas AB, Davis PG, Morley CJ. Reducing lung injury during neonatal resuscitation of preterm infants. *J Pediatr*. 2008; 153(6):741-5.
22. Michina J, Jobe AH, Ikegami M. Positive end-expiratory pressure preserves surfactant lung function in preterm lambs. *Am J Respir Crit Care Med*. 1999; 160(2):634-9.
23. Calvert S. The role of high frequency oscillatory ventilation in very preterm infants. *Biol Neonate*. 2002; 81(Suppl 1):25-7.
24. te Pas AB, Siew M, Wallace MJ, Kitchen MJ, Fouras A, Lewis RA, Yagi N, Uesugi K, Donath S, Davis PG, Morley CJ, Hooper SB. Establishing functional residual capacity at birth: the effect of sustained inflation and positive end-expiratory pressure in a preterm rabbit model. *Pediatr Res*. 2009; 65(5):537-41.
25. Naik AS, Kallapur SG, Bachurski CJ, Jobe AH, Michina J, Kramer BW, Ikegami M. Effects of ventilation with different positive end-expiratory pressure on cytokine expression in the preterm lamb lung. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001; 164(3):494-8.
26. Hooper SB, Siew ML, Kitchen MJ, te Pas AB. Establishing functional residual capacity in the non-breathing infant. *Semin Fetal Neonatal Med*. 2013; 18(3):336-43.

27. Perlman JM, Wyllie J, Kattwinkel J, Wyckoff MH, Aziz K, Guinsburg R, Kim HS, Liley HG, Mildenhall L, Simon WM, Szyld E, Tamura M, Velaphi S; Neonatal Resuscitation Chapter Collaborators. Part 7: Neonatal resuscitation: 2015 International consensus on cardiopulmonary resuscitation and emergency cardiovascular care science with treatment recommendations. *Circulation*. 2015; 132(suppl 1):S204-41.
28. Northway WH, Rosan RC, Porter DY. Pulmonary disease following respiratory therapy of hyaline membrane disease. Bronchopulmonary dysplasia. *N Engl J Med*. 1967; 276(7):357-68.
29. Popova AP. Mechanisms of bronchopulmonary dysplasia. *J Cell Commun Signal*. 2013; 7(2):119-27.
30. Jobe AH, Bancalari E. Bronchopulmonary dysplasia. *Am J Respir Crit Care Med*. 2001; 163(7):1723-9.
31. Ersdal HL, Mduma E, Svensen E, Perlman JM. Early initiation of basic resuscitation interventions including face mask ventilation may reduce asphyxia related mortality in low-income countries. A prospective descriptive observational study. *Resuscitation*. 2012; 83(7):869-73.
32. Guinsburg R, de Almeida MFB. Reanimação do recém-nascido < 34 semanas em sala de parto: Diretrizes 2016 da Sociedade Brasileira de Pediatria. Documento Científico do Programa de Reanimação Neonatal da Sociedade Brasileira de Pediatria. Disponível em: <<http://www.sbp.com.br/reanimação>>. Acesso em: 12 nov. 2016.

33. O'Donnell CPF, Davis RG, Morley CJ. Positive pressure ventilation at neonatal resuscitation: review of equipment and international survey of practice. *Acta Paediatr.* 2004; 93(5):583-8.
34. Roehr CC, Kelm M, Fischer HS, Bühner C, Schmalisch G, Proquitté. Manual ventilation devices in neonatal resuscitation: Tidal volume and positive pressure-provision. *Resuscitation.* 2010; 81(2):202-5.
35. Guinsburg R, de Almeida MFB. Reanimação do recém-nascido $\geq$ 34 semanas em sala de parto: Diretrizes 2016 da Sociedade Brasileira de Pediatria. Documento Científico do Programa de Reanimação Neonatal da Sociedade Brasileira de Pediatria. Disponível em: <<http://www.sbp.com.br/reanimação>>. Acesso em: 12 nov. 2016.
36. Finer NN, Barrington KJ, Al-Fadley F, Peters K. Limitations of self-inflating resuscitators. *Pediatrics.* 1986; 77(3):417-20.
37. Vento M, Saugstad OD. Resuscitation of the term and preterm infant. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2010; 15(4):216-22.
38. Wood FE, Morley CJ. Face mask ventilation - the dos and don'ts. *Semin Fetal Neonatal Med.* 2013; 18(6):344-51.
39. Hussey SG, Ryan CA, Murphy BP. Comparison of three manual ventilation devices using intubated mannequin. *Arch Dis Child Neonatal Ed.* 2004; 89(6):F490-3.

40. Leone TA, Rich W, Finer NN. A survey of delivery room resuscitation practices in the United States. *Pediatrics*. 2006; 117(2):e164-75.
41. Brasil. Ministério da Saúde. Secretaria de Assistência a Saúde. Portaria nº 371, de 7 de maio de 2014. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/sas/2014/prt0371_07_05_2014.html>. Acesso em: 20 fev. 2017.
42. ANZCOR Guideline 13.1. Introduction to resuscitation of the newborn infant. Australian Resuscitation Council. 2016. Disponível em: <<https://clubmona.files.wordpress.com/2016/02/intro-neonatal-resus.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2016.
43. Wyllie J, Bruinenberg J, Roehr CC, Rüdiger M, Trevisanuto D, Urlesberger B. European Resuscitation Council Guidelines for Resuscitation 2015 Section 7. Resuscitation and support of transition of babies at birth. *Resuscitation*. 2015; 95:249-63.
44. American Heart Association. Part 13: Neonatal Resuscitation. 2017. Disponível em: <<https://eccguidelines.heart.org/index.php/circulation/cpr-ecc-guidelines-2/part-13-neonatal-resuscitation/>>. Acesso em: 2 fev. 2017.
45. Bennett S, Finer NN, Rich W, Vaucher Y. A comparison of three neonatal resuscitation devices. *Resuscitation*. 2005; 67(1):113-8.

46. McHale S, Thomas M, Hayden E, Bergin K, McCallion N, Molloy EJ. Variation in inspiratory time and tidal volume with T-piece neonatal resuscitator: Association with operator experience and distraction. *Resuscitation*. 2008; 79(2):230-3.
47. Takur A, Saluja S, Modi M, Kler N, Garg P, Soni A, Kaur A, Chetri S. T-piece or self inflating bag for positive pressure ventilation during delivery room resuscitation: An RCT. *Resuscitation*. 2015; 90:21-4.
48. Finer NN, Rich W, Craft A, Henderson C. Comparison of methods of bag and mask ventilation for neonatal resuscitation. *Resuscitation*. 2001; 49(3):299-305.
49. Bassani MA, Mezzacappa Filho F, Coppo MRC, Marba STM. Peak pressure and tidal volume are affected by how the neonatal self-inflating bag is handled. *J Pediatr (Rio J)*. 2009; 85(3):217-22.
50. Szyld E, Aguilar A, Musante GA, Vain N, Prudent L, Fabres J, Carlo WA; Delivery Room Ventilation Devices Trial Group. Comparison of devices for newborn ventilation in the delivery room. *J Pediatr*. 2014; 165(2):234-9.
51. Jayaram A, Sima A, Barker G, Thacker LR. T-piece resuscitator versus self-inflating bag for preterm resuscitation: an institutional experience. *Respir Care*. 2013; 58(7):1233-6.

-
52. Keszler M, Abubakar MK. Physiologic principles. In: Goldsmith JP, Karotkin EH. Assisted ventilation of the neonate. 5 ed. St. Louis: Elsevier; 2011. p. 19-46.
 53. Sandhar BK, Niblett DJ, Argiras EP, Dunnill MS, Sykes MK. Effects of positive end-expiratory pressure on hyaline membrane formation in a rabbit model of neonatal respiratory distress syndrome. *Intensive Care Med.* 1988; 14(5):538-46.
 54. Jobe AH, Kramer BW, Moss TJ, Newnham JP, Ikegami M. Decreased indicators of lung injury with continuous positive expiratory pressure in preterm lambs. *Pediatr Res.* 2002; 52(3):387-92.
 55. Finer NN, Rich WD. Unintentional variation in positive end expiratory pressure during resuscitation with a T-piece resuscitator. *Resuscitation.* 2011; 82(6):717-9.
 56. Dawson JA, Gerber A, Kamlin COF, Davis PG, Morley CJ. Providing PEEP during neonatal resuscitation: Which device is best? *J Paediatr Child Health.* 2011; 47(10):698-703.
 57. Kattwinkel J, Stewart C, Walsh B, Gurka M, Paget-Brown A. Responding to compliance changes in a lung model during manual ventilation: perhaps volume, rather than pressure, should be displayed. *Pediatrics.* 2009; 123(3):e465-70.

58. Hernandez LA, Peevy KJ, Moise AA, Parker JC. Chest wall restriction limits high airway pressure-induced lung injury in young rabbits. *J Appl Physiol*. 1989; 66(5):2364-8.
59. Hawkes CP, Ryan CA, Dempsey EM. Comparison of the T-piece resuscitator with other neonatal manual ventilation devices: a qualitative review. *Resuscitation*. 2012; 83(7):797-802.
60. Schmölzer G, Kamlin OCOF, Dawson JA, te Pas AB, Morley CJ, Davis PG. Respiratory monitoring of neonatal resuscitation. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*. 2010; 95(4):F295-303.
61. Kazakos GM, Anagnostou T, Savvas I, Raptopoulos D, Kazakou IM. Use of the laryngeal mask airway in rabbits: placement and efficacy. *Lab Anim*. 2007; 36(4):29-34.

APÊNDICE

Apêndice A - Aceite da Revista *American Journal of Perinatology***American Journal of Perinatology****Decision Letter (16-Oct-M-0469.R3)**

From: rosemarydowehiggins@gmail.com

To: luhaddad@hotmail.com

CC:

Subject: American Journal of Perinatology - Decision on Manuscript ID 16-Oct-M-0469.R3

Body: 04-May-2017

Dear Prof. Haddad:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "A self-inflating bag may cause hypocapnia in a rabbit model of manual ventilation compared to the T-piece resuscitator" in its current form for publication in the American Journal of Perinatology. The comments of the reviewer(s) who reviewed your manuscript are included at the foot of this letter.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the American Journal of Perinatology, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,
Dr. Rosemary Higgins
Editor in Chief, American Journal of Perinatology
rosemarydowehiggins@gmail.com

Reviewer(s)' Comments to Author:

Referee: 1

Comments to the Author
Dear authors,

All questions were satisfactorily addressed and the manuscript is well written. Therefore, I consider the manuscript ready for publication in its current form.

Thank you for the opportunity to review your paper and congratulations on the study.

Sincerely yours,

Editorial Comments:

Date Sent: 04-May-2017

[© Thomson Reuters](#) | [© ScholarOne, Inc., 2017](#). All Rights Reserved.