

Maria Gabriela Cavicchia Toneloto¹,
Renato Giuseppe Giovanni Terzi²,
William Adalberto Silva³, Ana
Cristina de Moraes³, Marcos Mello
Moreira¹

Efeitos de diferentes volumes correntes e da pressão expiratória final positiva sobre a troca gasosa na fístula broncopleur experimental

Effects of different tidal volumes and positive end expiratory pressure on gas exchange in experimental bronchopleural fistula

1. Aluno de Pós-Graduação da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas (SP), Brazil.
2. Professor Titular do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas (SP), Brazil.
3. Biólogo da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, Campinas (SP), Brazil.

Recebido do Departamento de Cirurgia da Faculdade de Ciências Médicas, Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, Campinas (SP), Brazil.

Submetido em 22 de janeiro de 2008
Aceito em 29 de setembro de 2008

Endereço para correspondência:

Rua Conceição 233 sala 810, Centro
13010-916 Campinas, SP
Fone/Fax: (19) 3233-2969
E-mail: terzi@fcm.unicamp.br;
rggterzi@hotmail.com;
gabicavi@uol.com.br

RESUMO

Objetivo: O presente estudo foi desenhado para identificar o efeito da pressão expiratória final positiva (PEEP) e o volume corrente pulmonar ideal para ventilar animais com fístula broncopleur produzida cirurgicamente, com o intuito de reduzir a vazão da fístula sem afetar a troca gasosa.

Métodos: Avaliação hemodinâmica e respiratória da troca gasosa foi obtida em cinco porcos jovens, saudáveis, da linhagem Large White, ventilados mecanicamente no modo ventilatório volume controlado com FiO_2 de 0.4 e relação inspiração:expiração em torno de 1:2, com frequência respiratória mantida em 22 cpm. A fístula broncopleur foi produzida pela ressecção da lúgula. Um sistema de drenagem a selo d'água foi instalado e o tórax foi hermeticamente fechado. A troca gasosa e o débito da fístula broncopleur foram medidos com animais ventilados sequencialmente com volumes correntes de 4 ml/kg, 7 ml/kg e 10 ml/Kg alternando zero de pressão expiratória final positiva (ZEEP) e PEEP de 10 cmH₂O, sempre na mesma ordem.

Resultados: Esses dados são atribuídos à ventilação alveolar reduzida e às anormalidades da ventilação/perfusão

que foram atenuadas com volumes correntes mais altos. PEEP aumentou o vazamento de ar pela fístula, mesmo com baixos volumes, de $2.0 \pm 2,8$ mL para $31 \pm 20,7$ mL ($p=0,006$) e diminuiu a ventilação alveolar em todos os volumes correntes. A ventilação alveolar melhorou com altos volumes correntes, mas aumentou o débito da fístula ($4 \text{ ml/kg} - 2,0 \pm 2,8$ mL e $10 \text{ mL/kg} - 80,2 \pm 43,9$ mL; $p=0,001$). Baixos volumes correntes resultaram em hipercapnia (ZEEP – $83,7 \pm 6,9$ mmHg e com PEEP 10 – $93 \pm 10,1$ mmHg) e diminuição significativa da saturação de oxigênio arterial, em torno de 84%.

Conclusão: O volume corrente de 7 ml/kg com ZEEP foi considerado o melhor volume corrente, visto que, apesar da hipercapnia moderada, a saturação de oxigênio arterial é sustentada em torno de 90%. A ventilação alveolar melhora e o débito da fístula é reduzido quando comparado ao volume corrente de 10ml/Kg. Um baixo volume resulta em hipercapnia e grave dessaturação. Finalmente, em qualquer volume corrente, PEEP aumenta o débito da fístula e diminui a ventilação alveolar.

Descritores: Respiração com pressão positiva; Fístula bronquial; Fístula do trato respiratório; Respiração artificial; Volume de ventilação pulmonar; Hipercapnia; Suínos

INTRODUÇÃO

A fístula broncopleur (FBP) é uma complicação grave com alta taxa de morbidade e mortalidade hospitalar, especialmente quando associada à ventilação mecânica (VM). Vazamento persistente de ar ocorrendo após drenagem

torácica para pneumotórax é o sinal clínico mais precoce.¹ O diagnóstico é confirmado quando um vazamento ativo de ar for observado por mais de 24 horas.² A etiologia da FBS é multifatorial: pneumonia, radioterapia, tumores, tuberculose, ressecção pulmonar e trauma torácico.

Nas unidades de terapia intensiva (UTI) está, em geral, associada ao barotrauma e à ventilação mecânica prolongada.³ FBP também ocorre em pacientes com síndrome de desconforto respiratório agudo (SDRA) associada a prognóstico desfavorável por causa de expansão pulmonar incompleta, da necessidade de pressão expiratória final positiva (PEEP) e incapacidade de remover CO₂. Todavia, a real frequência deste tipo de complicação parece ser baixa e sua magnitude e impacto clínico permanecem incertos.⁴ No que diz respeito a causa, quando FBP está associada à VM com vazamento significativo de ar, as taxas de morbidade e mortalidade estão altas.⁵

A distribuição da ventilação pulmonar, a relação ventilação/perfusão e a troca gasosa podem sofrer profundas alterações em pacientes graves com FBP. Quando estes pacientes não puderem ser tratados cirurgicamente, a ventilação mecânica tem que ser ajustada para atingir uma troca gasosa ideal. Esta intervenção se impõe em presença de hipoxemia profunda e hipercapnia em FBC com alto fluxo – um quadro no qual a redução do volume de gás através da fístula é considerado parte importante da terapia.⁶ Foi demonstrado que a acidose respiratória e a taxa de mortalidade estão diretamente relacionadas com a magnitude do vazamento de ar, sobretudo quando acima de 50% do volume-minuto.¹

Apesar de várias propostas de medidas inovadoras para reduzir o vazamento de ar, a literatura se restringe a relatos de casos, revelando a necessidade por estudos mais abrangentes e controlados.⁴ No que diz respeito à estratégia ventilatória na FBP, a ventilação mecânica não acompanhou o progresso tecnológico médico dos últimos anos, porque os métodos primitivos como pressurização do sistema de drenagem continuam sendo usados junto com métodos mais sofisticados como ventilação de alta frequência (VAF).

A literatura é muito coerente ao não recomendar PEEP ao ventilar pacientes com FBP. Níveis altos de PEEP para otimizar a oxigenação do sangue podem perpetuar o vazamento de ar pela FBP.¹ Contudo, se o uso de PEEP for imperativo sugere-se que seja associado a baixo volume corrente para reduzir o débito de ar.^{1,7} Para reduzir o vazamento de ar e permitir fechamento da FBP são recomendados baixos volumes correntes, baixas pressões de pico, baixas frequências respiratórias e baixos níveis de PEEP.⁷⁻¹⁰

Hoje em dia, a ventilação pulmonar independente (VPI) e a VAF têm sido mais frequentemente citadas na

literatura. Todavia, na prática clínica poucos hospitais conseguem disponibilizar estes recursos. Portanto, na FBP a ventilação mecânica tem sido usada com baixa pressão média nas vias aéreas, independentemente do modo ventilatório, aceitando hipercapnia de forma indiscriminada e aleatória.

Como, até certo ponto a hipercapnia é conseqüência da própria fístula, a escolha de um volume corrente e de um modo ventilatório ideais torna-se mais difícil. Ademais, além dos efeitos adversos atribuídos à hipercapnia,^{11,12} administração de bicarbonato de sódio e curarização podem prolongar uso de ventilação mecânica e retardar o eventual fechamento da fístula.

Assim, é oportuna uma estratégia para reduzir o vazamento da FBP sem hipercapnia ou com níveis toleráveis, visando melhorar a ventilação alveolar e reduzir vazamento de ar. É de se esperar uma melhora no fechamento da FBP sem risco inerente de hipoventilação. Até o momento, nenhuma avaliação sistemática do efeito da PEEP zero (ZEEP) e da PEEP, em diferentes volumes correntes, sobre a troca gasosa na FBP foi relatada. O intuito deste estudo é de detectar o volume corrente ideal e avaliar o efeito da PEEP para reduzir o débito da FBP até níveis aceitáveis, com a mínima interferência possível sobre a troca gasosa pulmonar. Este trabalho faz parte de um estudo mais abrangente que inclui a avaliação de uma válvula de oclusão inspiratória e sua associação com PEEP, que deverá ser objeto de futuras publicações.

MÉTODOS

Cinco porcos Large White, jovens, machos com um peso médio de 25 kg, foram anestesiados (fentanil, quetamina e tiopental) e submetidos a intubação endotraqueal (6F) sendo mecanicamente ventilados com um ventilador BIRD 8400 com volume corrente suficiente para manter uma pressão parcial de dióxido de carbono corrente final (P_{ET}CO₂) em cerca de 45 mmHg. Um cateter Swan-Ganz foi inserido para avaliação hemodinâmica e um sistema de monitoração respiratória multiparamétrico (CO₂SMO-Plus[®] - Novamatrix-Respironics-Dixtal) foi instalado. Uma linha arterial foi colocada para registrar pressão sanguínea e coletar sangue para medir as trocas gasosas (IL-1640[®], Instrumentation Laboratory) e hemo-oximetria (OSM-3[®] Radiometer) calibrado para sangue suíno. Sempre que necessário, foi administrado curare (pancurônio) para evitar esforços respiratórios.

Após toracotomia esquerda foi induzida uma FBP por ressecção cirúrgica da línula ao nível necessário para expor um coto brônquico com diâmetro médio de 4mm. Subseqüentemente, o tórax foi submetido a uma drena-

gem a selo d'água (28F) e fechado hermeticamente.

No trabalho original já concluído, foi feita a comparação entre modos ventilatórios, volume e pressão controlada e como não houve uma diferença estatística significativa entre eles, optou-se por descrever os presentes resultado usando a ventilação controlada a volume (VCV). Este modo foi usado com FiO_2 40%, fluxo variável quadrado e uma razão inspiração:expiração em torno de 1:2 mantendo a frequência respiratória a 22 rpm. Após toracotomia, os animais foram ventilados com volume corrente de 4 mL/kg, 7 mL/kg e 10 mL/kg, sempre na mesma ordem, inicialmente com ZEEP e depois com PEEP de 10 cmH₂O; efeitos sobre a troca gasosa pulmonar e débito da fístula foram observados.

Cada etapa seqüencial foi chamada tratamento. A transição de um tratamento para o outro ocorreu a cada cinco minutos. A PEEP de 10 cmH₂O foi escolhida para ressaltar seu efeito, porque PEEP de 5 cmH₂O é considerada fisiológica.

Debito da fístula foi calculado com a diferença entre os volumes inspirados e expirados como registrado pelo sistema de monitoração respiratória (COSMO Plus[®] Novamatrix-Respironics-Dixtal). A pressão parcial de oxigênio alveolar (PAO_2) foi calculada para três volumes correntes

estudados utilizando a equação de gás alveolar¹³ $PAO_2 = (Pb-47) * FiO_2 - PaCO_2/0.8$ onde: $FiO_2 = 0,4$ e $Pb = 700$ mmHg (em Campinas, SP, 693 m de altitude), (FiO_2 – fração de oxigênio inspirado, $PaCO_2$ pressão parcial de dióxido de carbono arterial, Pb , pressão barométrica).

Uma análise descritiva avaliou a posição e dispersão das variáveis. A análise de variância (ANOVA) com três fatores repetidos (PEEP e ZEEP/ modo ventilatório – pressão e volume controlado/volume corrente – 4,7 e 10 mL/kg) foi aplicada para explicar a variabilidade da resposta entre tratamentos com medidas repetidas. Por causa do tamanho da amostra e da variabilidade das respostas ou medidas, foi feita uma transformação da classificação. O nível de significância adotado foi 5% ($p < 0,05$).¹⁴

RESULTADOS

A tabela 1 apresenta as médias e desvio padrão de cada variável registrada antes da toracotomia e após indução da FBP a cada volume corrente com ZEEP e com PEEP.

O vazamento da fístula broncopleurale aumenta com volume corrente mais alto em ZEEP. Quando é aplicada PEEP, o vazamento de ar aumenta significativamente mesmo com volume corrente baixo (Figura 1), chegando a uma perda de ar que afeta a ventilação alveolar (Figura 2).

Tabela 1 – Variáveis hemodinâmicas e respiratórias coletadas sob ventilação mecânica volume-controlada na fístula broncopleurale

Variáveis	Pré-fístula		Fístula broncopleurale					
	8,9 ± 1,6 mL/kg		4 mL/kg		7 mL/kg		10 mL/kg	
	ZEEP	PEEP	ZEEP	PEEP	ZEEP	PEEP	ZEEP	PEEP
Volume da fístula (ml)	0	0	2,0 ± 2,8	31 ± 20,7 p= 0,006	11,6 ± 14,6	59,6 ± 38 p=0,001	25,8 ± 18,3	80,2 ± 43,9 P=0,001
PaCO ₂ (mmHg)	48,3 ± 3,5	48,1 ± 2,3	83,7 ± 6,9	93 ± 10,1 p=0,052	78,8 ± 12,9	74,5 ± 13 p=0,385	63,1 ± 7,4	60,1 ± 8,3 P=0,120
SaO ₂ (%)	99,4 ± 0,5	99,8 ± 0,2	84,3 ± 9,2	84,6 ± 4,4 p=0,516	91,4 ± 7,4	94,9 ± 2,3 p=0,199	93,5 ± 2,7	98,6 ± 0,6 P=0,023
SvO ₂ (%)	75 ± 2,8	70,7 ± 4,6	60,2 ± 3,7	56,3 ± 3,3 p=0,160	64,8 ± 6,9	61,6 ± 3,6 p=0,444	63,6 ± 7,3	61 ± 5
DC (L/min)	4,7 ± 0,9	4,3 ± 0,9	5,0 ± 1	5,5 ± 1,2	5,7 ± 0,8	5,5 ± 1,2	5,2 ± 0,9	4,7 ± 0,5
D'O ₂ (ml/min)	740 ± 139	700 ± 168	650 ± 98	789 ± 221	806 ± 176	808 ± 225	757 ± 141	703 ± 110
VA (ml/ciclo)	167 ± 66	153 ± 53	50 ± 14	31 ± 10 p=0,012	107 ± 17	62 ± 17 P=0,001	159 ± 22	114 ± 17 P=0,003
V'A (L/min)	3,40 ± 1,52	3,37 ± 1,17	1,11 ± 0,33	0,68 ± 0,21	2,35 ± 0,37	1,37 ± 0,37	3,51 ± 0,48	2,50 ± 0,38
V'A/Q' (razão)	0,70 ± 0,22	0,78 ± 0,18	0,22 ± 0,05	0,13 ± 0,05	0,41 ± 0,08	0,26 ± 0,08	0,69 ± 0,14	0,54 ± 0,11
VC (ml)	220 ± 58	223 ± 58	100,8 ± 8	102,6 ± 11	167,4 ± 16	173,2 ± 19	238 ± 27	245,6 ± 31

PaCO₂ – pressão parcial do dióxido de carbono arterial, SaO₂ – saturação de oxigênio arterial, SvO₂ – saturação do oxigênio venoso, DC - débito cardíaco, D'O₂ – oferta de oxigênio; VA – ventilação alveolar por respiração, V'A – ventilação alveolar por minuto V'A/Q' – razão entre ventilação alveolar e débito cardíaco, VC – volume corrente. Resultados são expressos em médias ± desvio padrão. Valores de p se referem à comparação entre ZEEP e PEEP, em cada volume corrente.

Todavia, a PaCO₂ não muda com volumes correntes mais altos quando se aplica a PEEP (Figura 3).

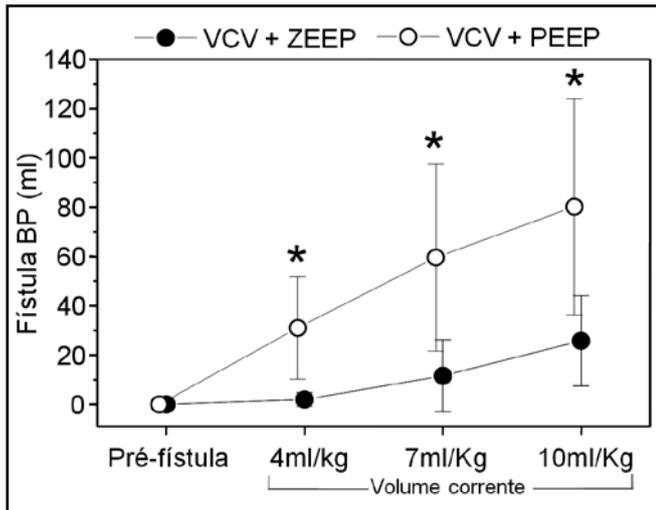


Figura 1 – Débitos da fistula em diferentes volumes correntes. Débitos da fistula são significativamente mais altos com volumes correntes mais altos, que variavam de 2% a 11% do volume corrente respectivamente de 4 a 10 mL/kg com ZEEP. Quando se aplica a PEEP, o vazamento de ar aumenta para mais de 30% do volume corrente em todos os volumes correntes estudados. (*) Diferença significativa entre ZEEP e PEEP (valor de p na tabela). BP - broncopleurá, PEEP-pressão expiratória final positiva, ZEEP - zero PEEP, VCV - ventilação controlada a volume.

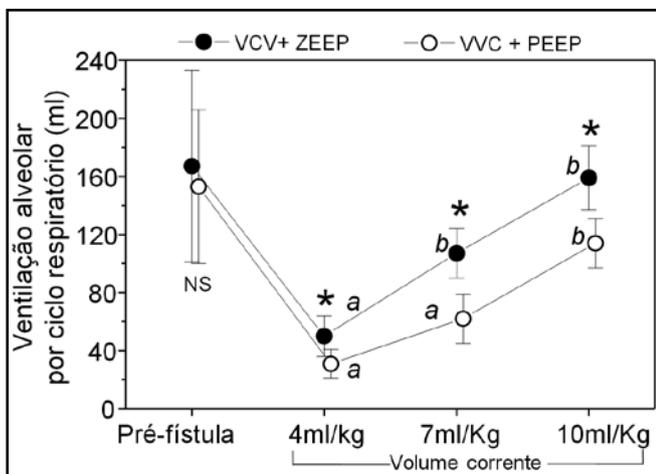


Figura 2 – Ventilação alveolar em diferentes volumes correntes. A ventilação alveolar aumenta com volumes correntes mais altos. Quando se aplica a PEEP o vazamento de ar aumenta (Tabela 1) e a ventilação alveolar cai em todos os volumes correntes estudados. (*) Diferença significativa entre ZEEP E PEEP (valor de p na tabela) NS – diferença não significativa entre ZEEP e PEEP. a = Diferença significativa em comparação à pré-fístula b = Diferença não significativa quando comparado à pré-fístula. PEEP pressão positiva expiratória final, ZEEP – zero PEEP, VCV – ventilação controlada a volume.

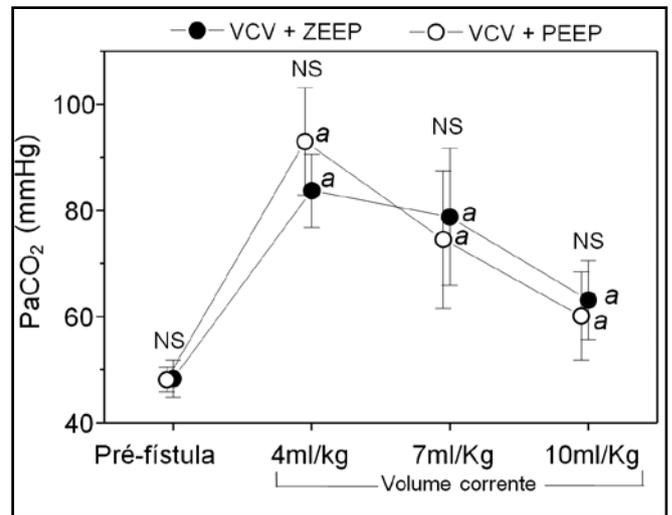


Figura 3 – PaCO₂ em diferentes volumes correntes. PaCO₂ aumentou significativamente com volumes correntes mais baixos. Apesar da diferença significativa na ventilação alveolar com volumes correntes altos, não se observou uma diferença estatística na PaCO₂ comparando 4, 7 e 10 ml/kg. Isto foi atribuído a uma perda significativa de CO₂ através da fistula broncopleurá. NS – Diferença não significativa entre ZEEP e PEEP a = Diferença significativa quando comparada à pré-fístula PaCO₂ (pressão parcial de dióxido de carbono). PEEP – pressão expiratória final positiva, ZEEP – zero PEEP, VVC – ventilação controlada a volume.

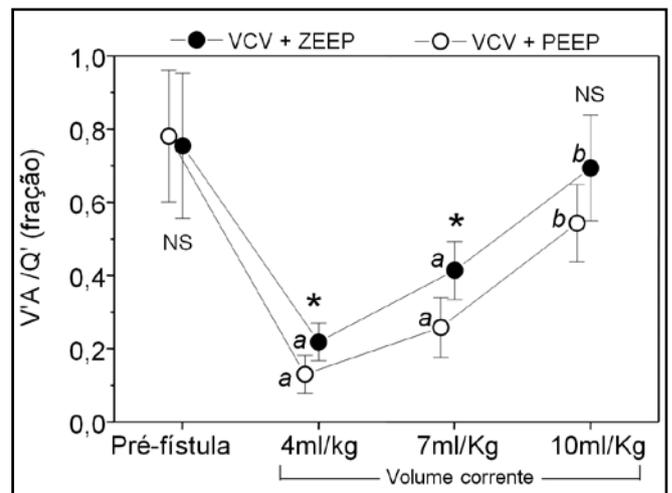


Figura 4 - V'A/Q' em diferentes volumes correntes. V'A/Q' segue o mesmo padrão do que a ventilação alveolar, com uma queda significativa em volume corrente baixo, aumentando, porém, com volumes correntes mais altos. Quando PEEP é aplicada V'A/Q' cai em todos os volumes correntes estudados. (*) Diferença significativa entre ZEEP e PEEP NS = diferença não significativa entre ZEEP e PEEP a = Diferença significativa quando comparada à pré-fístula b = Diferença não significativa quando comparada à pré-fístula. V'A/Q': razão entre ventilação alveolar e débito cardíaco, PaCO₂ (pressão arterial parcial de CO₂, PEEP – pressão expiratória final positiva, ZEEP – zero PEEP, VVC – ventilação volume-controlada.

$V'A/Q'$ (razão entre ventilação alveolar e débito cardíaco) segue o mesmo padrão da ventilação alveolar, com uma pronunciada queda em volume corrente baixo, aumentada, porém, com volumes correntes mais altos. Quando se aplica PEEP, $V'A/Q'$ cai em todos os volumes correntes estudados (Figura 4). A saturação do oxigênio arterial cai até níveis inaceitáveis com volume corrente muito baixo. Todavia, em volumes correntes mais altos, a saturação de oxigênio é significativamente mais alta com PEEP do que com ZEEP (Figura 5). O débito cardíaco e a oferta de oxigênio não foram afetados mudando o volume corrente até 10 mL/kg associado ou não com a aplicação da PEEP de 10 cmH₂O.

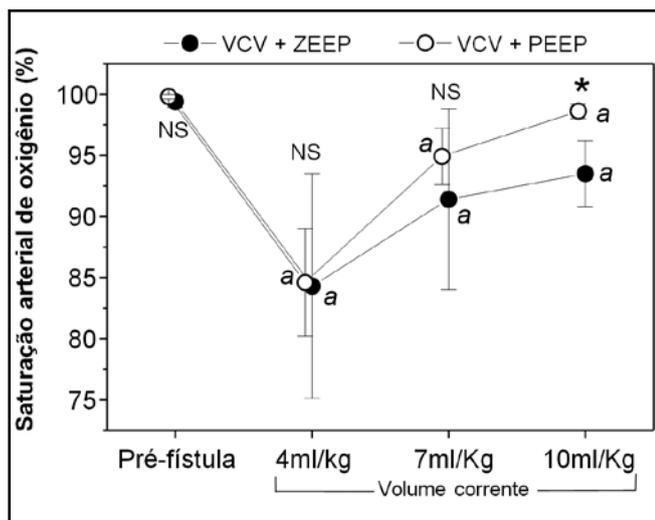


Figura 5 – Saturação de oxigênio arterial em diferentes volumes correntes. Saturação de oxigênio arterial cai a níveis inaceitáveis com volumes correntes muito baixos. Todavia, com volumes correntes altos a saturação de oxigênio é significativamente mais alta com PEEP do que com ZEEP. Este aparente paradoxo, considerando a ventilação alveolar mais baixa com PEEP, é interpretado como uma melhor troca gasosa, provocada ao prevenir o colapso alveolar com PEEP. (*) Diferença significativa entre ZEEP e PEEP ($p=0,023$). NS = Diferença não significativa entre ZEEP e PEEP. a = Diferença significativa quando comparado à pré-fístula. PEEP – Pressão expiratória final positiva, ZEEP – zero PEEP, VVC = ventilação controlada a volume.

DISCUSSÃO

Não obstante a causa, quando uma FBP com importante vazamento de ar estiver associada à ventilação mecânica, ela cursa com alta mortalidade e morbidade.⁵ A estratégia ideal na FBP deveria ser de amoldar e ajustar a ventilação mecânica para manter uma troca gasosa adequada, sem interferência com a hemodinâmica, para reduzir o vazamento de ar permitindo o fechamento da fístula.

Isto pode ser alcançado com um volume corrente de 7mL/kg com ZEEP apesar de uma hipercapnia moderada. É atingida uma saturação adequada do oxigênio arterial, melhora da ventilação alveolar e diminuição do débito da fístula. Quando se emprega a ventilação mecânica com parâmetros convencionais – volume corrente, a frequência respiratória, tempo de inspiração e PEEP - o fluxo de ar através da fístula é mantido, afetando a troca gasosa e impedindo o fechamento da fístula.

Para exercer um controle significativo sobre o vazamento de ar no modo controlado de baixa frequência, o modo de ventilação mandatória intermitente (VMI) foi proposto para permitir uma respiração espontânea.⁶ A vantagem da VMI sobre a ventilação totalmente controlada foi relatada por Powner e Grenvik⁶, sugerindo que o uso de volumes correntes baixos, frequência respiratória baixa, PEEP baixo e baixo tempo de inspiração levam a um fluxo reduzido de PEEP.^{6,15,16} Contudo, esta estratégia pode piorar a distribuição ventilatória pulmonar, reter CO₂ e resultar em hipoxemia. Neste estudo, o modo ventilação-controlada foi usado para evitar a ocorrência de respiração espontânea, um fator que poderia interferir na análise dos dados.

Na prática clínica, VCV tem sido usada com maior frequência, mas se houver aumento das pressões intratorácicas por causa de menor complacência do sistema respiratória, o fechamento da fístula poderá ser comprometido. Em nosso estudo não foram encontradas diferenças estatisticamente significativas em qualquer variável entre os dois modos ventilatórios usados, volume e pressão controlada, portanto usamos os resultados da VCV de forma aleatória. Os autores observaram que na SDRA associada à FBP, uso de ventilação com pressão controlada demanda ajuste da pressão para assegurar um volume pré-estabelecido.^{15,16} Por outro lado, Denis et al. observaram que o uso de pressões de pico altas para manter uma boa expansão pulmonar e abrir novas unidades pulmonares não aumenta significativamente o vazamento do ar pela fístula.¹⁷ Nossa observação é que volumes correntes altos aumentam vazamento de ar e a PEEP amplifica esse efeito (Figura 1), reduzindo ao mesmo tempo a ventilação alveolar (Figura 2). Dados comparativos entre modos controlados de pressão e de volume relacionados ao débito da FBP não são encontrados na literatura. Este estudo revelou que quanto maior o volume aplicado e, portanto, mais alta a pressão intratorácica, maior será o débito da fístula. Não obstante, há que ressaltar que estes animais tinham pulmões normais sem qualquer acometimento pulmonar prévio ou agudo.

Apesar de haver um consenso na literatura que, durante a ventilação convencional, hipercapnia permissiva deveria ser estabelecida para reduzir FBP, esta intervenção não

deixa de ter efeitos adversos pulmonares, cardiovasculares e neurológicos, além de estar estreitamente relacionada à morbidade e mortalidade¹⁸ Neste estudo, PaCO₂ de 48.3 ± 3.5 mmHg na pré-fístula aumentou significativamente em volume corrente baixo (4 mL/kg) e permaneceu elevada até 10ml/Kg. Não foram percebidas maiores diferenças na PaCO₂ entre ZEEP e PEEP (Figura 3) como aquelas notadas para o volume da fistula (Figura 1) e ventilação alveolar (Figura 2). A hipercapnia esperada, devida à redução da ventilação alveolar induzida pela PEEP (Figura 2) não ocorreu. A explicação provável é que, apesar da redução da ventilação alveolar, CO₂ escapa pela fistula broncopleurale como já foi demonstrado por Bishop et al.²

A saturação do oxigênio arterial caiu de 99,4% antes da fistula para 84,3% após indução da FBP com volume corrente de 4 mL/kg e para 91.4% e 93.5% com volumes correntes de 7 mL/kg e 10 mL/kg respectivamente, todos com uma diferença estatisticamente significativa quando comparados ao valor pré-fístula. Com o volume corrente a 10 mL/kg, a ventilação alveolar por respiração melhorou significativamente com a adição de PEEP (Figura 4). A baixa saturação de oxigênio pode ser atribuída ao aumento de PCO₂ no ar alveolar.

Em todos os volumes correntes a PAO₂ calculada sempre estava acima de 150 mmHg, sugerindo que a saturação esperada deveria chegar perto de 100%. O gradiente alveolar aumentado para PO₂ arterial indica que a hipoxemia arterial não pode ser explicada apenas por hipoventilação. Um fator que poderia explicar a hipoxemia arterial é a vasoconstrição pulmonar devida a hipercapnia, como já foi observado¹². Um segundo fator é a ocorrência de colapso alveolar resultante dos volumes correntes baixos. Aliás, com volumes correntes mais altos, a saturação de oxigênio arterial melhora com PEEP quando comparada com ZEEP. Todavia, sem uma diferença estatisticamente significativa (Figura 4) apesar da redução da ventilação alveolar (Figura 2). Este aparente paradoxo é interpretado como uma melhor troca gasosa induzida pela prevenção do colapso alveolar com PEEP.

Também foi observado que a saturação de oxigênio venoso (SvO₂) caiu de 75% para 65% nos três volumes correntes estudados. A baixa saturação do oxigênio venoso poderia ser atribuída a uma maior absorção de oxigênio devida a uma perfusão mais baixa do tecido. Todavia, o débito cardíaco não caiu após FBP e a oferta de oxigênio não mostrou diferença estatisticamente significativa entre os três volumes usados, que permaneceram relativamente constantes após indução da FBP.

A ventilação alveolar a cada respiração efetivamente caiu de 167ml antes da fistula para 50 ml com volume corrente de 4 mL/kg e para 107 e 159 com volumes correntes de 7 mL/kg e 10 mL/kg respectivamente.

A ventilação alveolar por respiração piorou com a adição de PEEP em todos os volumes correntes (Figura 2) e a diferença em ventilação alveolar foi estatisticamente significativa entre os três volumes correntes. A relação da ventilação alveolar minuto e o débito cardíaco resulta na razão V'A/Q'. Esta razão caiu de cerca 0,70 para 0,22 com o volume corrente de 4ml/kg e para 0,41 e 0,69 com volume corrente de 7 mL/kg e 10 mL/kg respectivamente. A razão VÁ/Q' piorou com adição de PEEP em todos os volumes correntes (Figura 5).

Uma limitação deste estudo pode estar associada ao nosso modelo de animais saudáveis. Como a maioria das FBPs nas UTI ocorre em SDRA, complacência e resistência respiratórias podem ser diferentes, por isso a utilização clínica de nossos dados deve ser cuidadosa. Uma segunda limitação é a seqüência dos diferentes tratamentos sempre empregados na mesma ordem de 4 mL/kg, 7 mL/kg e 10 mL/kg, com ZEEP e depois com PEEP. Poder-se-ia argumentar que o histórico de um poderia interferir no tratamento seguinte. Todavia, teria sido impossível aleatorizar um tratamento específico porque muitos parâmetros teriam que ser mudados e registrados num período de tempo limitado.

CONCLUSÕES

O volume corrente de 7 mL/kg com ZEEP foi considerado o melhor volume corrente porque, apesar da hipercapnia moderada, a saturação de oxigênio arterial é mantida por volta de 90%, a ventilação alveolar melhora e o débito da fistula é reduzido, quando comparado ao volume corrente de 10 mL/kg. Um volume corrente baixo resulta em hipercapnia e em grave dessaturação de oxigênio arterial. Finalmente, em qualquer volume corrente, a PEEP aumenta o débito da fistula e diminui a ventilação alveolar. Outros estudos em animais ou pacientes com complacência e resistência anormais se fazem necessários.

ABSTRACT

Objectives: The present study was designed to identify the effect of positive end expiratory pressure (PEEP) and the ideal pulmonary tidal volume to ventilate animals with a surgically produced bronchopleural fistula, aiming to reduce fistula output without affecting gas exchange.

Methods: Hemodynamic and respiratory assessment of gas exchange was obtained in five, healthy, young, mechanically ventilated Large White pigs under volume controlled ventilation with FiO₂ of 0.4 and an inspiration:expiration ratio of 1:2, keeping respiratory rate at 22 cpm. A bronchopleural fistula was

produced by resection of the lingula. Underwater seal drainage was installed and the thorax was hermetically closed. Gas exchange and fistula output were measured with the animals ventilated sequentially with tidal volumes of 4 ml/kg, 7 ml/kg and 10 ml/Kg alternating zero of positive end expiratory pressure (ZEEP) and PEEP of 10 cmH₂O, always in the same order.

Results: These findings are attributed to reduced alveolar ventilation and ventilation/perfusion abnormalities and were attenuated with larger tidal volumes. PEEP increases air leak, even with low volume (of 2.0 ± 2.8mL to 31 ± 20.7mL; p= 0.006) and decreases alveolar ventilation in all tidal volumes. Alveolar ventilation improved with larger tidal volumes, but increased fistula output (10 mL/kg - 25.8 ± 18.3mL to 80.2 ± 43.9mL; p=0.0010). Low tidal volumes result in hypercapnia (ZEEP -

83.7± 6.9 mmHg and with PEEP 10 - 93 ± 10.1mmHg) and severely decreased arterial oxygen saturation, about of 84%.

Conclusions: The tidal volume of 7 ml/Kg with ZEEP was considered the best tidal volume because, despite moderate hypercapnia, arterial oxygen saturation is sustained around 90%, alveolar ventilation improves and the fistula output is reduced when compared with a tidal volume of 10ml/Kg. A low tidal volume results in hypercapnia and severe desaturation. Finally, at any tidal volume, PEEP increases the fistula leak and decreases alveolar ventilation.

Keywords: Positive-pressure respiration; Bronchial fistula; Respiratory tract fistula; Respiration, artificial; Tidal volume; Hypercapnia; Swine

REFERENCIAS

01. Pierson DJ, Horton CA, Bates PW. Persistent bronchopleural air leak during mechanical ventilation. A review of 39 cases. *Chest*. 1986;90(3):321-3.
02. Bishop MJ, Benson MS, Pierson DJ. Carbon dioxide excretion via bronchopleural fistulas in adult respiratory distress syndrome. *Chest*. 1987;91(3):400-2.
03. Willatts SM. Alternative modes of ventilation. Part I. Disadvantages of controlled mechanical ventilation: intermittent mandatory ventilation. *Intensive Care Med*. 1985;11(2):51-5.
04. Pierson DJ. Management of bronchopleural fistula in the adult respiratory distress syndrome. *New Horiz*. 1993;1(4):512-21.
05. Martin WR, Siefkin AD, Allen R. Closure of a bronchopleural fistula with bronchoscopic instillation of tetracycline. *Chest*. 1991;99(4):1040-2. Comment in: *Chest*. 1992;101(6):1737-8.
06. Powner DJ, Grenvik A. Ventilatory management of life-threatening bronchopleural fistulae. A summary. *Crit Care Med*. 1981;9(1):54-8.
07. Rafferty TD, Palma J, Motoyama E, et al. Management of a bronchopleural fistula with differential lung ventilation and positive end-expiratory pressure. *Respir Care*. 1980;25:654-7.
08. Tietjen CS, Simon BA, Helfaer MA. Permissive hypercapnia with high-frequency oscillatory ventilation and one-lung isolation for intraoperative management of lung resection in a patient with multiple bronchopleural fistulae. *J Clin Anesth*. 1997;9(1):69-73.
09. Bevelacqua FA, Kay S. A modified technique for the management of bronchopleural fistula in ventilator-dependent patients: a report of two cases. *Respir Care*. 1986;31:904-8.
10. Barringer M, Meredith J, Prough D, Gibson R, Blinkhorn R. Effectiveness of high-frequency jet ventilation in management of an experimental bronchopleural fistula. *Am Surg*. 1982;48(12):610-3.
11. Mas A, Saura P, Joseph D, Blanch L, Baigorri F, Artigas A, Fernández R. Effect of acute moderate changes in PaCO₂ on global hemodynamics and gastric perfusion. *Crit Care Med*. 2000;28(2):360-5.
12. Kiely DG, Cargill RI, Lipworth BJ. Effects of hypercapnia on hemodynamic, inotropic, lusitropic, and electrophysiologic indices in humans. *Chest*. 1996;109(5):1215-21.
13. West JB. *Respiratory physiology – the essentials*. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1994. p.51-2.
14. Montgomery DC. *Design and analysis of experiments*. 3rd ed. New York: John Wiley; 1991.
15. Schinco MA, Formosa VA, Santora TA. Ventilatory management of a bronchopleural fistula following thoracic surgery. *Respir Care*. 1998;43(12):1064-9.
16. Litmanovitch M, Joynt GM, Cooper PJ, Kraus P. Persistent bronchopleural fistula in a patient with adult respiratory distress syndrome. Treatment with pressure-controlled ventilation. *Chest*. 1993;104(6):1901-2.
17. Dennis JW, Eigen H, Ballantine TV, Grosfeld JL.- The relationship between peak inspiratory pressure and positive end expiratory pressure on the volume of air lost through a bronchopleural fistula. *J Pediatr Surg*. 1980;15(6):971-6.
18. Dries DJ. Permissive hypercapnia. *J Trauma*. 1995;39(5):984-9.