

Efeitos da Pressão Limite (25 cmH₂O) e Mínima de "Selo" do Balonete de Tubos Traqueais Sobre a Mucosa Traqueal do Cão *

Effects of Tracheal Tube Cuff Limit Pressure (25 cmH₂O) and "Seal" Pressure on Tracheal Mucosa of Dogs

Emanuel Celice Castilho¹; José Reinaldo Cerqueira Braz, TSA²; Antonio José Maria Catâneo³;
Regina Helena Garcia Martins⁴; Elisa Aparecida Gregório⁵; Eduardo Raposo Monteiro⁶

RESUMO

Castilho EC, Braz JRC, Catâneo AJM, Martins RHG, Gregório EA, Monteiro ER - Efeitos da Pressão Limite (25 cmH₂O) e Mínima de "Selo" do Balonete de Tubos Traqueais Sobre a Mucosa Traqueal do Cão

JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS: As lesões da mucosa traqueal em contato com o balonete do tubo traqueal são proporcionais à pressão exercida pelo balonete e ao tempo de exposição. O objetivo foi estudar as eventuais lesões da mucosa do segmento traqueal em contato com o balonete do tubo traqueal insuflado com volume de ar suficiente para se obter pressão de "selo" ou com a pressão limite de 25 cmH₂O, abaixo da pressão crítica de 30 cm de água para produção de lesão da mucosa traqueal.

MÉTODO: Dezesesseis cães foram submetidos à anestesia venosa e ventilação artificial. Os cães foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos de acordo com a pressão no balonete do tubo traqueal (Portex Blue-Line, Inglaterra): G_{selo} (n = 8) balonete com pressão mínima de "selo" para impedir vazamento de ar durante a respiração artificial; G₂₅ (n = 8) balonete insuflado até obtenção da pressão de 25 cmH₂O. A medida da pressão do balonete foi realizada por meio de manômetro digital no início (controle) e após 60, 120 e 180 minutos. Após o sacrifício dos cães, foram feitas biópsias nas áreas da mucosa traqueal adjacentes ao balonete e ao tubo traqueal para análise à microscopia eletrônica de varredura (MEV).

RESULTADOS: A pressão média do balonete em G₂₅ manteve-se entre 24,8 e 25 cmH₂O e em G_{selo} entre 11,9 e 12,5 cmH₂O durante o experimento. As alterações à MEV foram pequenas e não significativamente diferentes nos grupos (p > 0,30), mas ocorreram lesões mais intensas nas áreas de contato da mucosa traqueal com o balonete do tubo traqueal, nos dois grupos, em relação às áreas da mucosa adjacentes ou não ao tubo traqueal (p < 0,05).

CONCLUSÕES: No cão, nas condições experimentais empregadas, a insuflação do balonete de tubo traqueal em volume de ar suficiente para determinar pressão limite de 25 cmH₂O ou de "selo" para impedir vazamento de ar determina lesões mínimas da mucosa traqueal em contato com o balonete e sem diferença significativa entre elas.

Unitermos: ANIMAL: cão; EQUIPAMENTOS: tubo traqueal; INTUBAÇÃO TRAQUEAL; TÉCNICAS DE MEDIÇÃO: pressão do balonete

SUMMARY

Castilho EC, Braz JRC, Catâneo AJM, Martins RHG, Gregório EA, Monteiro ER - Effects of Tracheal Tube Cuff Limit Pressure (25 cmH₂O) and "Seal" Pressure on Tracheal Mucosa of Dogs

BACKGROUND AND OBJECTIVES: Injuries of tracheal mucosa in contact with tracheal tube cuff is a function of cuff pressure and exposure time. This study aimed at analyzing injuries of tracheal mucosa in contact with tracheal tube cuff inflated to reach "seal" pressure or limit 25 cmH₂O pressure, below critical 30 cmH₂O, to prevent tracheal damage.

METHODS: This study involved 16 dogs submitted to intravenous anesthesia and artificial ventilation. Dogs were randomly distributed into two experimental groups according to tracheal tube cuff pressure (Portex Blue Line, UK): G_{seal} (n = 8) cuff with minimum "seal" pressure to prevent air leakage during artificial ventilation; G₂₅ (n=8) cuff inflated to 25 cmH₂O. Cuff pressure was measured with a digital manometer at the beginning of the experiment (control) and 60, 120 and 180 minutes later. Animals were sacrificed and tracheal mucosa areas adjacent to the tracheal tube cuff were biopsied by scanning electronic microscopy (SEM).

RESULTS: Mean cuff pressure was maintained between 24.8 and 25 cmH₂O in G₂₅ and between 11.9 and 12.5 cmH₂O in G_{seal}. SEM changes were mild and not significantly different between groups (p > 0.30), with more severe injuries to tracheal areas in contact with the cuff as compared to areas adjacent or not to tracheal tube (p < 0.05).

CONCLUSIONS: In dogs under our experimental conditions, tracheal tube cuff inflation to 25 cmH₂O limit or to "seal" pressure to prevent air leakage has determined minor injuries to the tracheal mucosa in contact with tracheal tube cuff, without significant differences between groups.

Key Words: ANIMAL: dog; EQUIPMENTS: tracheal tube; MEASUREMENT TECHNIQUES: cuff pressure; TRACHEAL INTUBATION

* Recebido do (Received from) Laboratório Experimental do CET/SBA do Departamento de Anestesiologia da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB - UNESP), no Programa de Pós-Graduação em Cirurgia, Doutorado, com equipamentos adquiridos por meio de Auxílios à Pesquisa n^{os}: 98/7742, 96/03302 e 97/09982 e à Infra-Estrutura de Pesquisa Fase 4 - Módulo 2 - da FAPESP

1. Pós-Graduando (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia da FMB - UNESP. Médico do Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da FMB - UNESP
2. Professor Titular do Departamento de Anestesiologia da FMB - UNESP
3. Professor Adjunto do Departamento de Cirurgia da FMB - UNESP
4. Professora Doutora do Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da FMB - UNESP
5. Professora Titular do Departamento de Morfologia do Instituto de Biociências de Botucatu, UNESP
6. Pós-Graduando (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Anestesiologia da FMB - UNESP

Apresentado (Submitted) em 20 de janeiro de 2003
Aceito (Accepted) para publicação em 01 de abril de 2003

Endereço para correspondência (Correspondence to)
Prof. Dr. José Reinaldo Cerqueira Braz
Dept^o de Anestesiologia da FMB - UNESP
Distrito de Rubião Junior
18618-970 Botucatu, SP

© Sociedade Brasileira de Anestesiologia, 2003

INTRODUÇÃO

A pressão do balonete do tubo traqueal é transmitida para a mucosa e parede traqueais, podendo causar, quando elevada, isquemia dos vasos e outras importantes alterações da mucosa, como: perda ciliar¹, ulceração², hemorragia², estenose subglótica³, fístula traqueoesofágica⁴, além de granulomas⁵. Em fragmentos da traquéia de 26 pacientes submetidos a traqueostomia e que permaneceram sob intubação traqueal por, no máximo, 48 horas, com tubo traqueal provido de balonete de elevado volume e baixa pressão, os autores⁶ verificaram, à microscopia eletrônica de varredura, que ocorriam lesões precoces da mucosa traqueal, caracterizadas por edema celular, perda de cílios e descamação do epitélio. No local da descamação epitelial havia colonização por elementos do sangue e deposição de fibrina, indicando processo de reparação.

Ainda não existe consenso sobre o valor máximo da pressão no balonete do tubo traqueal para se evitar lesão traqueal. Após pesquisas experimentais realizadas por Nordln (1977)⁷, o valor da pressão limite (máxima) tem sido considerada de 30 cmH₂O. Em pesquisa realizada no homem, os autores⁸ também recomendam que a insuflação do balonete não deve ultrapassar 30 cmH₂O.

Por outro lado, em pesquisa recente⁹, verificou-se em cães, que a utilização de tubo traqueal, provido de válvula reguladora de pressão no balonete (válvula de Lanz[®]), sob pressão de 30 cmH₂O durante o período de três horas, não impediu a ocorrência na área da mucosa traqueal em contato com o balonete, de erosão epitelial traqueal de média intensidade à microscopia óptica e de alterações ciliares e do epitélio traqueal à microscopia eletrônica de varredura. Segundo a autora, esses achados fazem considerar que o valor crítico de 30 cmH₂O para a pressão no balonete, para se evitar a ocorrência de lesões da mucosa traqueal, é um valor ainda elevado e que deve-se utilizar menores valores da pressão no balonete.

Alguns autores^{10,11} têm preconizado, para se evitar lesão da mucosa traqueal, a insuflação do balonete do tubo traqueal apenas com a pressão mínima de "selo" necessária para que não ocorra escape do fluxo de gases durante a fase inspiratória da ventilação.

Com a perspectiva de que pressões mínimas de "selo" do balonete do tubo traqueal possam determinar menores alterações da mucosa traqueal do que a pressão no balonete (25 cmH₂O) próxima ao valor limite da perfusão da mucosa traqueal (30 cmH₂O), o objetivo da pesquisa foi de estudar, por meio da microscopia eletrônica de varredura, a ocorrência de eventuais lesões da mucosa traqueal em contato com o balonete do tubo traqueal insuflado à pressão de 25 cmH₂O ou à pressão mínima de "selo".

MÉTODO

Após aprovação pela Comissão de Ética em Pesquisa Animal da Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP, foram

utilizados 16 cães adultos, sem raça definida, de ambos os sexos, com peso entre 13 e 20 kg.

Todos os animais foram submetidos à anestesia venosa e ventilação artificial, por meio de tubo traqueal da Portex, modelo *blue-line*, com balonete de baixa pressão e elevado volume, ref. 100/199/085 (Inglaterra). Os animais foram distribuídos aleatoriamente, em dois grupos, com oito animais em cada grupo, de acordo com a pressão empregada no balonete:

G_{selo}: balonete insuflado à pressão mínima necessária para impedir o escape de gases durante a fase inspiratória da ventilação;

G₂₅: balonete insuflado à pressão de 25 cmH₂O.

Seqüência Experimental

Após jejum alimentar de 12 horas, mas com livre acesso à água, realizou-se a indução da anestesia, após introdução do cateter 20G em veia periférica, com pentobarbital sódico (25 mg.kg⁻¹), seguida de infusão contínua venosa de Ringer com lactato (5 ml.kg⁻¹.h⁻¹), utilizando-se bomba de infusão de dois canais. Em seguida, fez-se o posicionamento supino do animal em goteira de Claude Bernard. Completou-se a indução anestésica com fentanil (5 µg.kg⁻¹) e cloreto de alcurônio (0,2 mg.kg⁻¹). Por meio da válvula do balonete de prova do tubo traqueal, retirou-se todo o ar residual, antes de realizar-se a intubação traqueal. Após a laringoscopia, realizou-se a intubação traqueal, utilizando-se tubo traqueal de diâmetro interno de 8 a 9 mm, compatível com a abertura glótica, fixando-o no focinho do animal. Insuflou-se o balonete do tubo traqueal com ar, de acordo com o grupo estudado. No grupo G_{selo}, a pressão mínima do balonete para evitar escape do gás inspirado durante a ventilação controlada foi verificada por controle do volume corrente inspirado e expirado: quando os dois se igualaram, houve a interrupção da administração de ar no balonete. Para a medida desta pressão e introdução de ar no balonete, utilizou-se manômetro digital P-V Gauge da Mallinckrodt (EUA).

A anestesia foi mantida por meio da administração venosa contínua de pentobarbital sódico (5 mg.kg⁻¹.h⁻¹), empregando-se o segundo canal da bomba de infusão. Para manutenção de bom relaxamento muscular, fez-se injeções venosas intermitentes, a cada 45 minutos, de cloreto de alcurônio (0,06 µg.kg⁻¹).

O animal foi mantido em respiração controlada ciclada a volume com pressão expiratória no final da expiração de + 2 cm de água, por meio de sistema valvular com absorção de dióxido de carbono, e fluxo total de gases frescos de 2 L.min⁻¹, constituído de oxigênio (0,8 L.min⁻¹) e ar comprimido (1,2 L.min⁻¹), empregando-se o aparelho de anestesia Ohmeda, Excel 210 SE (EUA) e o ventilador Ventilador Ohmeda modelo 7900[®] (EUA). Para a ventilação, empregou-se volume corrente ao redor de 20 ml.kg⁻¹ e frequência respiratória entre 10 a 15 mov.min⁻¹ para se manter a pressão expiratória de CO₂ (P_{ETCO₂}) entre 35 e 40 mmHg.

Para a monitorização, utilizou-se o biomonitor AS3 da Datex Ohmeda (Finlândia), empregando-se módulo de pressão arterial invasiva, após dissecação e cateterização da artéria femoral direita com cateter de polietileno PE 240; módulo de ECG, na derivação D_{II}; módulo de oximetria de pulso, com o sensor colocado na língua do animal; módulo de gases e de ventilação, por meio da captação de amostra de gases inspirados e expirados entre a peça em “Y” do circuito respiratório e o tubo traqueal; módulo de temperatura de dois canais, por meio de sensores colocados, respectivamente, no terço distal do esôfago para determinação da temperatura central, e próximo ao animal, para determinação da temperatura ambiente. Os animais foram recobertos com manta especial para insuflação de ar aquecido na temperatura de 42 - 46 °C, utilizando-se o aparelho WarmTouch da Mallinckrodt (EUA), para manutenção da temperatura central ao redor de 38 °C. A temperatura ambiente foi mantida, por meio de condicionador de ar quente/frio, ao redor de 24 °C.

Ao término da experiência, os cães foram sacrificados com injeção venosa excessiva de pentobarbital sódico. Após transfixação da traquéia, por meio de agulhas 40 x 16, na extremidade junto à laringe e aos brônquios principais, a mesma foi retirada por dissecação juntamente com o tubo traqueal, quando o diâmetro traqueal interno foi determinado. Foram realizadas oito biópsias, utilizando-se vazadores de 1 x 1 cm, sendo quatro na área da traquéia que esteve em contato com o balonete do tubo traqueal (BB₁ - região anterior, BB₂ - região posterior, BB₃ - região lateral direita e BB₄ - região lateral esquerda), duas acima do balonete em região que esteve em contato com o tubo traqueal (BL₁ - região anterior e BL₂ - região posterior próxima à laringe) e duas abaixo do balonete (BP₁ - região anterior e BP₂ - região posterior próxima à carina), em regiões da traquéia que não tiveram contato com o tubo traqueal.

O material das biópsias foi submetido à seqüência de preparação para a microscopia eletrônica de varredura (MEV), como segue: fixação em glutaraldeído a 2% em tampão fosfato 0,1 M e pH de 7,3 por, no mínimo, 12 horas; lavagem em tampão fosfato 0,1 M e em pH de 7,3 (três lavagens de 15 minutos cada); pós-fixação em tetróxido de ósmio a 1% por uma hora, no mesmo tampão anterior e em ambiente escuro; lavagem em tampão fosfato (três lavagens de 15 minutos cada); desidratação em série das peças por meio de soluções contendo percentagens crescentes de álcool, de 7,5% a 100% (duas trocas de 15 minutos cada); secagem das peças em aparelho de ponto crítico Balzers CPD-020 (Holanda), utilizando-se dióxido de carbono líquido; montagem em base metálica com cola de prata; cobertura das peças com ouro (15 nm de ouro) em aparelho Balzers Mod. 010 (Holanda); exame e fotografia do material em microscópio eletrônico de varredura 515 da Phillips (Holanda), sob tensão de 15 kv. A avaliação histológica das biópsias à MEV foram feitas pelo pesquisador e por patologista, sem conhecimento prévio dos grupos ou áreas aos quais pertenciam as peças, sendo as mesmas identificadas por cão e não por grupo. A intensidade de alterações do muco, cílios e células epiteliais receberam pontuação de 0 a 4, como segue: grau 0 - ausência de altera-

ções do muco, cílios ou células epiteliais; grau 1 - sinais de ressecamento do muco, com cílios formando grupamentos e gotas de muco com rugosidades grosseiras e/ou sulcos profundos, algumas vezes totalmente “murchas”, e ausência de alterações das células epiteliais; grau 2 - sinais de ressecamento do muco associados a pequena perda ciliar; grau 3 - rarefação ciliar importante associada a alterações das células epiteliais, com ruptura epitelial; e grau 4 - ruptura, desorganização e perda de epitélio traqueal. Considerou-se a pontuação obtida em cada uma das biópsias e também a média dos valores de cada uma das áreas da mucosa traqueal: acima do balonete (BL), área do balonete (BB) e abaixo do balonete (BP).

Os atributos estudados foram: peso (kg), comprimento (cm), sexo dos animais, diâmetro interno da traquéia (mm), diâmetro interno do tubo traqueal (mm), pressão no balonete do tubo traqueal nos tempos 0 (controle), 60, 120 e 180 minutos após a instalação completa do sistema de ventilação dos cães; pontuação histológica à MEV de cada uma das biópsias da mucosa traqueal e a pontuação histológica média à MEV obtida em cada uma das áreas da mucosa traqueal: acima, abaixo e na área do balonete.

Métodos Estatísticos

Para o peso, comprimento e diâmetro interno da traquéia e do tubo traqueal os grupos foram comparados pelo teste *t* de Student para duas amostras independentes. Para a distribuição dos sexos foi empregado o método do Qui-quadrado (χ^2). Para a comparação das áreas em cada grupo, foi aplicada a prova não-paramétrica de Friedman para amostras dependentes; para comparação de áreas entre os grupos foi aplicada a prova não-paramétrica de Mann-Whitney para duas amostras independentes. Para a variável mensurada ao longo do tempo, utilizou-se ANOVA seguida de aplicação do teste de Tukey. As estatísticas calculadas foram consideradas significativas quando $p < 0,05$.

RESULTADOS

Os grupos mostraram-se homogêneos em relação aos atributos antropométricos e distribuição do sexo ($p > 0,05$; Tabela I). O diâmetro interno da traquéia e o do tubo traqueal não apresentaram diferença significativa entre os grupos ($p > 0,05$; Tabela II).

Tabela I - Atributos Antropométricos e Distribuição do Sexo nos Grupos

Grupos	Peso (kg) *	Comprimento (cm) *	Sexo (M/F)
G _{selo}	15,4 ± 0,9	94,9 ± 5,5	6/2
G ₂₅	15,7 ± 2,1	97,2 ± 9,9	4/4

* Valores expressos pela Média ± DP

Não houve diferença significativa entre os grupos ($p > 0,05$)

Tabela II - Diâmetro Interno da Traquéia (Média ± DP) e do Tubo Traqueal (Valores da Moda) nos Grupos Estudados

Grupos	Diâmetro interno da traquéia (mm)	Diâmetro interno do tubo traqueal (mm)
G _{selo}	17 ± 2	8,0
G ₂₅	18 ± 3	8,5

Não houve diferença entre os grupos (p > 0,05)

Os valores da pressão no balonete do tubo traqueal do grupo G_{selo} foram significativamente menores em relação ao grupo G₂₅ em todos os momentos estudados (p < 0,05). Nos grupos, somente os valores da pressão no balonete no grupo G₂₅ diminuíram no tempo 60 minutos, em relação ao tempo 0 (p < 0,05; Tabela III).

Tabela III - Valores (Média ± DP) da Pressão no Balonete dos Tubos Traqueais (cmH₂O) Obtidos ao Longo do Tempo nos Grupos Estudados

Grupos	Tempo (min)			
	0	60	120	180
G _{selo}	12 ± 4#	13 ± 5#	12 ± 3#	12 ± 4#
G ₂₅	25 ± 0	24,8 ± 0,5*	25 ± 0	25 ± 0

Diferença significativa entre os grupos (p < 0,05)

* Diferença significativa, no grupo, em relação ao controle (p < 0,05)

Não houve diferença significativa da pontuação histológica das biópsias do epitélio traqueal à MEV entre os grupos e em cada grupo estudado (p < 0,05; Tabelas IV e V). Já a pontuação histológica média das áreas da mucosa traqueal em contato com o balonete foi significativamente maior em relação às demais áreas do mesmo grupo (p < 0,05), mas não na comparação entre os grupos (p > 0,05; Tabela V).

Tabela IV - Valores da Mediana, Mínimo e Máximo da Pontuação Histológica das Biópsias do Epitélio Traqueal à Microscopia Eletrônica de Varredura nos Grupos Estudados

Grupos	Áreas de Biópsia							
	BB ₁	BB ₂	BB ₃	BB ₄	BL ₁	BL ₂	BP ₁	BP ₂
G _{selo}	3	1,5	1,5	2	1	1	1	1
	(1-4)	(1-3)	(1-2)	(1-4)	(1-4)	(1-2)	(1-4)	(1-4)
G ₂₅	2	1,5	1,5	1	1	1	1	1
	(1-3)	(1-4)	(1-4)	(1-4)	(1-2)	(1-2)	(1-3)	(1-1)

BB: área do balonete; BL: área acima do balonete; BP: área abaixo do balonete; 1: região anterior; 2: região posterior; 3: lateral direita; 4: lateral esquerda

Não houve diferença significativa entre os grupos e em cada grupo (p > 0,05)

Tabela V - Valores da Mediana, Mínimo e Máximo da Pontuação Histológica Média das Áreas da Mucosa Traqueal à Microscopia Eletrônica de Varredura nos Grupos Estudados

Grupos	Áreas		
	BB	BL	BP
G _{selo}	2,1*	1,0	1,0
	(1,25 - 2,50)	(1,0 - 2,50)	(1,0 - 4,0)
G ₂₅	1,75*	1,25	(1,0)
	(1,0 - 3,50)	(1,0 - 1,50)	(1,0 - 2,0)

BB: área do balonete; BL: área acima do balonete em contato com o tubo traqueal; BP: área abaixo do balonete sem contato com o tubo traqueal

* Os valores da área do balonete foram significativamente maiores do que os das demais áreas em cada grupo estudado (p < 0,05), mas sem que houvesse diferença significativa entre os grupos (p > 0,05)

As principais alterações histológicas observadas à MEV nos dois grupos estudados são vistas nas figuras de 1 a 4.

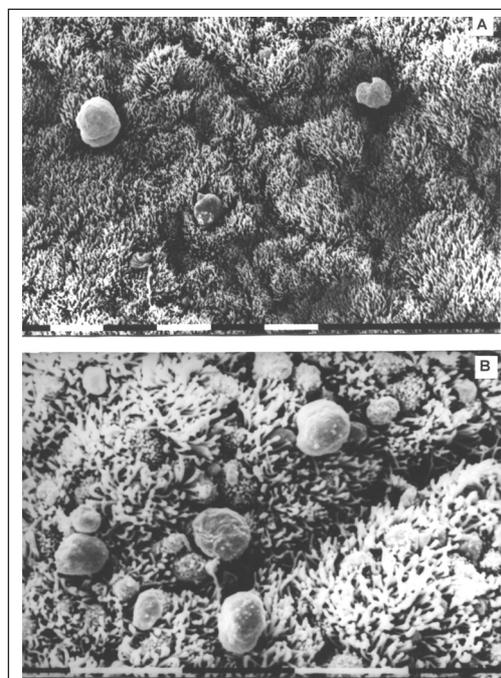


Figura 1 - Microscopia Eletrônica de Varredura de: A) área da mucosa da parede anterior da traquéia abaixo do balonete (BP₁) de cão do grupo G_{selo} mostrando epitélio com cílios agrupados e gotas de muco com rugosidades (1500 x); B) detalhe mostrando cílios agrupados e gotículas de muco de vários tamanhos e com rugosidades (3400x), caracterizando avaliação histológica grau 1

EFEITOS DA PRESSÃO LIMITE (25 CMH₂O) E MÍNIMA DE "SELO" DO
BALONETE DE TUBOS TRAQUEAIS SOBRE A MUCOSA TRAQUEAL DO CÃO

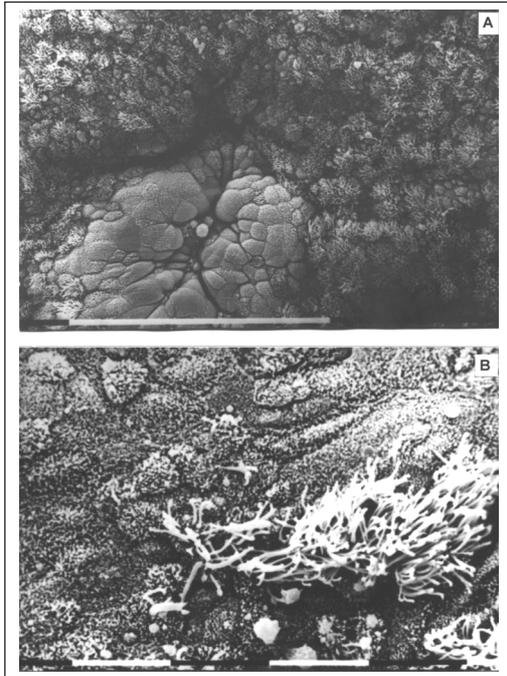


Figura 2 - Microscopia Eletrônica de Varredura de: A) área da mucosa da parede anterior da traquéia, acima do balonete (BL₂) de cão do grupo G_{selo} mostrando focos de perda ciliar e cílios formando grupamentos (750x), caracterizando avaliação histológica grau 2; B) detalhe de epitélio íntegro com perda ciliar (3000x)

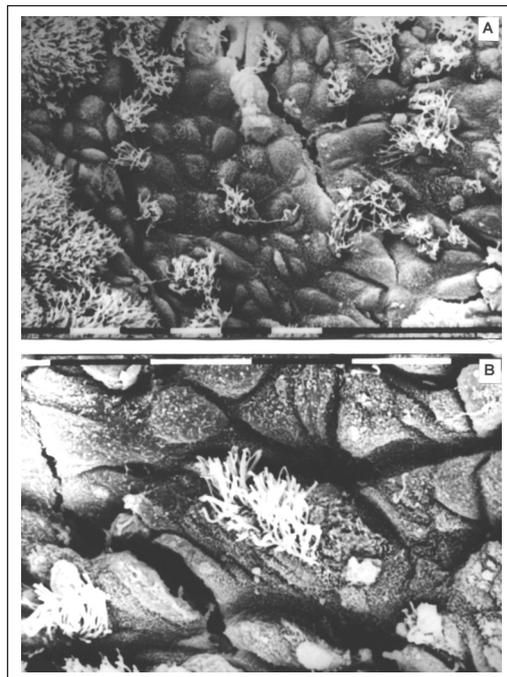


Figura 3 - Microscopia Eletrônica de Varredura de: A) área de mucosa da parede lateral de área esquerda da traquéia em contato com o balonete (BB₄) de cão do grupo G_{selo}, mostrando devastação ciliar e ruptura do epitélio traqueal (1500x), caracterizando avaliação histológica grau 3; B) detalhe mostrando perda ciliar importante e ruptura do epitélio traqueal (3000x)

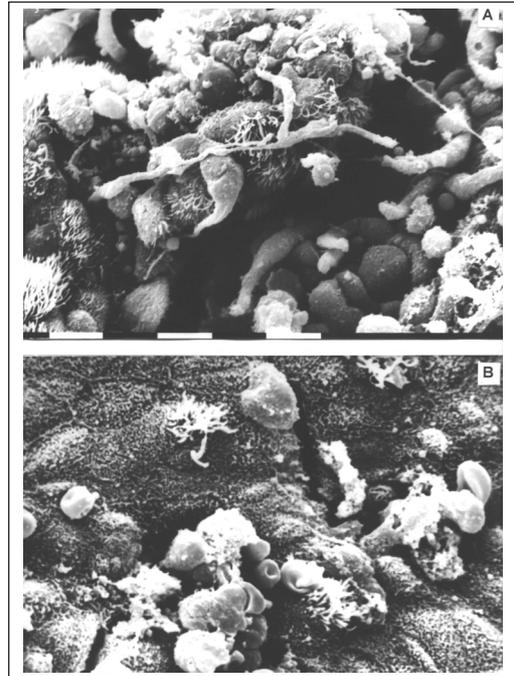


Figura 4 - Microscopia Eletrônica de Varredura de: A) área em contato com o balonete da região anterior (BP₁) da mucosa traqueal de cão do grupo G₂₅, mostrando ruptura epitelial, desorganização, perda do epitélio traqueal e células "soltas" (1500x), caracterizando avaliação histológica grau 4; B) detalhe mostrando ruptura do epitélio, devastação ciliar, gotas de muco ressecadas, restos celulares e hemácias (2300x)

DISCUSSÃO

O estudo confirmou a importância da manutenção da pressão no balonete do tubo traqueal em níveis inferiores ao valor crítico de 30 cmH₂O para se evitar a ocorrência de lesões importantes da mucosa traqueal. Por outro lado, não se conseguiu demonstrar que a diminuição da pressão no balonete até valores bem abaixo do valor crítico de 25 cmH₂O, como os que foram obtidos no grupo em que se empregou valores da pressão de "selo" no balonete (Tabela III), determinasse alterações ainda menores da mucosa traqueal em contato com o balonete (Tabelas IV e V; Figuras 1 a 4).

Nossos resultados também demonstraram que, apesar do emprego de pressões no balonete que são consideradas "seguras", por estarem abaixo do valor crítico de 30 cmH₂O, ainda ocorreram, em alguns experimentos, independentemente do grupo estudado, alterações importantes da mucosa traqueal em contato com o tubo traqueal, especialmente com o balonete (Tabelas IV e V; Figuras 3 e 4) e que as mesmas, de certa forma, são inevitáveis, pois o balonete sempre exerce pressão sobre a mucosa, mesmo sendo mínima.

Ao colherem fragmentos da traquéia, após a realização de traqueostomia, em 26 pacientes da Unidade de Terapia Intensiva que haviam permanecido sob intubação traqueal com tubo de baixa pressão por período não superior a 48 ho-

ras, Alvarez e Aragón (1981)⁶ verificaram alterações à MEV da mucosa traqueal, ocasionadas pela presença do balonete. Segundo os autores, inicialmente ocorre edema da mucosa traqueal, caracterizado por inchaço e aumento da separação intercelular, além de infiltração do tipo inflamatório. Como consequência do edema, ocorre interrupção da irrigação sangüínea na área de contato, que determina descamação do epitélio por destruição ou morte celular. As células perdem os cílios e no citoplasma observa-se o fenômeno de lise. Com a ruptura dos capilares sangüíneos há extravasamento de seu conteúdo na área da lesão, configurando a formação de microúlceras à MEV. Em seguida, a lesão é invadida por rede de fibrina, iniciando-se a cicatrização da microferrida. No entanto, a presença do tubo traqueal e de seu balonete mantém a isquemia na área, fazendo com que a reparação seja incompleta, mantendo-se um processo de necrose-reparação-necrose, enquanto não houver a retirada do tubo traqueal.

As alterações do epitélio da mucosa traqueal que ocorreram na pesquisa, certamente são ainda menos intensas do que as descritas anteriormente, pois o intervalo do tempo de permanência do tubo traqueal foi bem menor (três horas). Mesmo assim, alterações importantes já ocorreram durante este período na mucosa traqueal, indicando a precocidade de sua ocorrência. Logicamente essas alterações são consideradas leves, em sua maioria; mas nas áreas em contato com o balonete, independentemente do grupo, em alguns experimentos ocorreram alterações importantes (Figuras 3A e 3B, 4A e 4B), inclusive com desorganização epitelial e extravasamento de sangue (hemácias) dos capilares sangüíneos para a superfície epitelial (Figura 4B).

A retirada da traquéia do animal sempre foi precedida pela transfixação da mesma juntamente com o tubo traqueal para se evitar deslocamento do tubo traqueal e se ter certeza dos pontos de contato do balonete com a mucosa traqueal antes da realização das biópsias. Na obtenção das biópsias, utilizou-se material apropriado para evitar possíveis lesões à mucosa traqueal durante sua manipulação. Esses cuidados não conseguiram evitar a ocorrência de algumas alterações em áreas em que normalmente não deveriam existir, como as que as que ocorreram nas biópsias de traquéia que não estiveram em contato com o tubo traqueal. Deve-se ressaltar que a mucosa da árvore traqueobrônquica é muito delicada, sendo constituída de uma única camada epitelial de células ciliadas, cujo contato, mesmo que mínimo, pode determinar lesões. As lesões à MEV encontradas nos dois grupos na mucosa traqueal em contato com o balonete podem ser consideradas mínimas e menos numerosas, em comparação com outros estudos, quando foram utilizadas pressões de balonetes ligeiramente superiores às utilizadas no grupo G₂₅, ou seja 30 cmH₂O⁹. Esses achados nos fazem considerar a pressão no balonete de 25 cmH₂O e não a atual pressão crítica de 30 cmH₂O, como o limite superior, acima do qual podem ser provocadas lesões mais graves da mucosa traqueal.

As alterações do epitélio da mucosa traqueal, caracterizadas por alterações histológicas grau 1, foram determinadas pelo emprego de fluxo médio (2 L.min⁻¹) de gases, que são fri-

os e secos. Mesmo utilizando-se sistema semifechado com cal sodada que, ao reagir com o dióxido de carbono expirado, produz calor e umidade, os autores têm observado ressecamento importante da mucosa traqueal com esse fluxo de gases¹².

Deve-se ressaltar que mesmo mantendo-se a pressão no balonete em valores inferiores aos da pressão limite, pode ter ocorrido algum grau de obstrução do fluxo de vasos venosos e linfáticos da traquéia. A pressão final do leito capilar venoso traqueal é de 12 mmHg (16 cmH₂O) e a linfática de 3 - 5 mmHg, e pressões acima desses valores podem provocar, respectivamente, congestão e edema da mucosa traqueal. O que pode determinar sob o aspecto clínico essas microúlceras da mucosa traqueal?

Combes e col.¹³, em pacientes submetidos à anestesia geral com óxido nitroso, demonstraram no grupo em que não houve aumento da pressão do balonete (inicial de 20 a 30 cmH₂O), devido ao seu preenchimento com solução fisiológica, menor incidência (32%) de microúlceras da mucosa traqueal em contato com o balonete, acompanhada de baixa incidência de odinofagia no pós-operatório, em comparação com o grupo com preenchimento do balonete com ar. Nesse grupo, após 3 a 4 horas de inalação de óxido nitroso, houve aumento da pressão no balonete para valores médios de 50 cmH₂O, acompanhado por aumento significativa da incidência de microúlceras (100%) de mucosa traqueal e de odinofagia no pós-operatório, mas não de rouquidão ou de disfagia.

Por outro lado, também em estudo recente¹⁴, não se conseguiu demonstrar efeito protetor da limitação de pressão no balonete, em relação à incidência de odinofagia no pós-operatório. No entanto, outros estudos^{15,16} demonstraram menor incidência de odinofagia quando a pressão no balonete é mantida em valor abaixo do valor crítico de 25 - 30 cmH₂O. Diferenças existentes entre os vários tipos de balonete em relação à área de contato com a mucosa traqueal podem explicar essas diferentes observações^{17,18}.

Considerando-se que a insuflação do balonete do tubo traqueal tem a dupla finalidade de evitar tanto a aspiração de conteúdo gástrico regurgitado para o interior do trato respiratório como o escape do gás inspirado durante ventilação artificial e, frente aos resultados à MEV encontrados na pesquisa surge a questão: qual deve ser a orientação em relação ao nosso procedimento quanto aos níveis de pressão que devem ser empregados no balonete?

Inicialmente deve-se considerar que o "selo" determinado por balonetes de tubos traqueais com características de grande volume e baixa pressão pode ser adequado para impedir "fuga" do volume de gás inspirado, mas não necessariamente impede a aspiração de conteúdo líquido¹⁹. Por causa de seu grande diâmetro quando em repouso, dobras podem se formar na parede do balonete durante a sua insuflação, que podem predispor à formação de pequenos canais, os quais podem favorecer a aspiração de conteúdo faríngeo, por capilaridade²⁰.

Vários outros fatores podem impedir ou aumentar a formação de dobras no balonete. Assim, a relação entre o diâmetro

do balonete e o da traquéia deve ser a mais próxima possível para impedir a formação de dobras²¹. Estas diminuem com o aumento da pressão no balonete, mas aumentam quando sua parede não é tão fina e menos flexível, condições que aumentam o diâmetro interno das dobras²². Logicamente, a viscosidade do fluido aspirado também tem importância, pois o fluido gástrico apresenta menor viscosidade do que a do sangue, o que facilita a sua passagem pelas dobras do balonete e à aspiração pulmonar.

Na presente pesquisa, o diâmetro interno das traquéias e dos tubos traqueais não apresentaram diferença significativa entre os grupos (Tabela II). Assim, em princípio, a possibilidade da formação de dobras no balonete foi a mesma nos dois grupos.

Na determinação da pressão de "selo" de balonete de baixa pressão e elevado volume, os autores verificaram que essa pressão é mais elevada no homem do que na mulher²³. Provavelmente essa diferença deve-se à configuração diferenciada da traquéia nos sexos. Assim, a traquéia do homem é mais assimétrica e com configuração mais triangular em relação à da mulher, que, geralmente, tem configuração elíptica²¹. A configuração triangular facilita a formação de dobras no balonete, que necessitam pressão mais elevada no balonete para sua obliteração. Na presente pesquisa, a distribuição do sexo nos grupos não foi significativa (Tabela I). Não existe ainda estudo sobre a configuração da traquéia no cão, de acordo com o sexo.

Segundo Lomholdt²⁴, a pressão mínima exercida pelo balonete sobre a mucosa traqueal para prevenção da aspiração é igual a pressão hidrostática da coluna de sangue, vômito ou líquidos, que pode preencher a boca, faringe e traquéia acima do balonete. Essa pressão hidrostática depende do desnível entre a parte superior do balonete e a cavidade oral, que se altera com a posição do paciente. Essa pressão é de 10 a 15 cmH₂O, na posição supina, e de 10 a 20 cmH₂O na posição ereta. Como medida de segurança, o autor recomenda que seja colocada pressão mais elevada, ao redor de 5 cmH₂O, em relação a esses valores, o que resulta na pressão de 20 cmH₂O na posição supina e de 25 cmH₂O na posição ereta.

Assim, a ocorrência de lesões semelhantes da mucosa traqueal nos dois grupos elege a pressão de 25 cmH₂O como a que deve ser utilizada em cirurgias de longa duração, sem a utilização de óxido nítrico, ou em Unidades de Terapia Intensiva, por causa da padronização atual dos tubos traqueais (elevado volume e baixa pressão), da eventual proteção à aspiração do conteúdo gastroesofágico regurgitado^{19,20} e pela facilidade de monitoramento. Por outro lado, ao se utilizar o óxido nítrico durante a anestesia para cirurgias de longa duração de cabeça e pescoço, quando há dificuldade de monitoramento da pressão no balonete, pode-se optar pela pressão de "selo" do balonete, pois a mesma, embora não haja ainda evidências suficientes, pode amenizar o aumento da pressão no balonete por causa da difusão do óxido nítrico para o seu interior.

Infelizmente, a pressão no balonete de prova do tubo traqueal, medida indireta da pressão exercida pelo balonete à mucosa traqueal, não é determinada rotineiramente, tanto pelo anes-

tesiólogista, como pelo médico e enfermeiro que trabalham em Unidades de Terapia Intensiva²⁵⁻²⁷. A estimativa da pressão no balonete, por meio da palpação do balonete de prova, também pode não detectar pressões elevadas no balonete²⁸. Em conclusão, no cão, nas condições experimentais empregadas, a insuflação do balonete do tubo traqueal de elevado volume e baixa pressão, com volume de ar suficiente para determinar pressão de 25 cmH₂O ou mínima de "selo" para impedir vazamento do gás inalado durante a ventilação artificial, determina lesões mínimas da mucosa traqueal em contato com o balonete e sem diferença entre elas.

Effects of Tracheal Tube Cuff Limit Pressure (25 cmH₂O) and "Seal" Pressure on Tracheal Mucosa of Dogs

Emanuel Celice Castilho, M.D.; José Reinaldo Cerqueira Braz, TSA, M.D.; Antonio José Maria Catâneo, M.D.; Regina Helena Garcia Martins, M.D.; Elisa Aparecida Gregório, M.D.; Eduardo Raposo Monteiro, M.D.

INTRODUCTION

Tracheal tube cuff pressure is transmitted to tracheal mucosa and walls and, when high, may determine vessels ischemia and other major mucosal changes, such as: ciliary loss¹, ulceration², hemorrhage², subglottic stenosis³, tracheal-esophageal fistula⁴, in addition to granulomas⁵. In tracheal fragments of 26 patients submitted to tracheostomy under tracheal intubation with high-volume and low-pressure cuff not exceeding 48 hours, authors⁶ have observed at scanning electronic microscopy the presence of early tracheal mucosa injuries characterized by cellular edema, ciliary loss and epithelial desquamation. Epithelial desquamation sites were colonized by blood elements and fibrin deposition, indicating a healing process.

There is still no consensus on the maximum tracheal tube cuff pressure to prevent tracheal injury. After experimental studies by Nordin (1977)⁷, pressure limit (maximum) has been considered 30 cmH₂O. In a study in men, authors⁸ also recommend that cuff inflation should not exceed 30 cmH₂O.

On the other hand, a recent study in dogs⁹ has observed that tracheal tubes with cuff pressure regulating valve (Lanz[®] valve), under 30 cmH₂O pressure for 3 hours, have not prevented moderate tracheal mucosa epithelial erosion and ciliary and tracheal epithelium changes at scanning electronic microscopy. According to the author, these findings lead to the consideration that 30 cmH₂O as the critical value to prevent tracheal mucosa damage is still a high value and that lower cuff pressures should be used.

Some authors^{10,11} have preconized tracheal tube cuff inflation with the minimum "seal" pressure to prevent air leakage during inspiration, to prevent tracheal mucosa injuries.

With the perspective that minimum "seal" tracheal tube cuff pressures could determine less tracheal mucosa damage as compared to cuff pressure (25 cmH₂O) close to tracheal mucosa perfusion limit (30 cmH₂O), this study aimed at observing, through scanning electronic microscopy, injuries to the tracheal mucosa in contact with tracheal tube cuff inflated to 25 cmH₂O or to minimum "seal" pressure.

METHODS

After the Animal Research Ethics Committee, Faculdade de Medicina de Botucatu - UNESP - approval, 16 adult mixed-breed dogs of both genders, weighing 13 to 20 kg, were involved in this study.

All animals were submitted to intravenous anesthesia and artificial ventilation with Portex, blue-line tracheal tube with low-pressure and high-volume cuff, ref. 100/199/085 (UK). Animals were randomly distributed in two groups of 8 animals, according to cuff pressure:

G_{seal} : cuff inflated to the minimum pressure needed to prevent air leakage during inspiration;

G_{25} : cuff inflated at 25 cmH₂O.

Experimental Sequence

After 12-hour fast but with free access to water, anesthesia was induced with sodium pentobarbital (25 mg.kg⁻¹) after 20G catheter insertion in a peripheral vein, followed by intravenous lactated Ringer's continuous infusion (5 ml.kg⁻¹.h⁻¹) with 2-channel infusion pump. Animals were then placed in the supine position on Claude Bernard trough. Anesthetic induction was completed with fentanyl (5 µg.kg⁻¹) and alcuronium (0.2 mg.kg⁻¹). All residual air was removed by the test cuff valve before tracheal intubation. Tracheal intubation was performed after laryngoscopy using an 8 to 9 mm internal diameter tracheal tube compatible with glottic opening, which was fixed to animal's muzzle. Tracheal tube cuff was inflated with air, according to the studied group. In G_{seal} , minimum pressure to prevent inspired air leakage during controlled ventilation was checked by controlling inspired and expired tidal volume; when both were equal, air-flow to the cuff was interrupted. A digital Mallinckrodt P-V Gauge (USA) was used to measure this pressure and cuff inflation.

Anesthesia was maintained with continuous intravenous sodium pentobarbital (5 mg.kg⁻¹), through the second infusion pump channel. Intermittent intravenous alcuronium injections (0.06 µg.kg⁻¹) were administered at 45-minute intervals to maintain good muscle relaxation.

Animals were maintained in volume-controlled ventilation with end tidal pressure of +2 cm of water, by a valve system with carbon dioxide absorption and total fresh gases flow of 2 L.min⁻¹, made up of oxygen (0.8 L.min⁻¹) and compressed air (1.2 L.min⁻¹) using Ohmeda, Excel 210 SE (USA) anesthesia

machine and Ohmeda model 7900® (USA) ventilator. Tidal volume of approximately 20 ml.kg⁻¹ was used to maintain ventilation, and respiratory rate was kept between 10 and 15 mov.min⁻¹ to maintain end tidal CO₂ (P_{ET}-CO₂) between 35 and 40 mmHg.

AS3 Datex Ohmeda (Finland) biomonitor was used for non-invasive blood pressure monitoring after right femoral artery dissection and catheterization with PE 240 polyethylene catheter; ECG at D_{II} lead; pulse oximetry with the sensor placed on animal's tongue; gases and ventilation monitoring by inspired and expired gases sampling between the "Y" piece of the ventilatory circuit and the tracheal tube; temperature monitoring through 2-channel module by sensors placed on the esophageal distal third to determine central temperature and close to the animal to determine room temperature, respectively. Animals were covered with a special blanket for heated air inflation (42 - 46 °C), using Mallinckrodt (USA) WarmTouch device, to maintain central temperature in approximately 38 °C. Room temperature was maintained in approximately 24 °C through a hot/cold air conditioning system. At the end of the experiment, animals were sacrificed with excessive intravenous sodium pentobarbital. After tracheal transfixation with 40 x 16 needles in the extremity close to larynx and major bronchi, trachea was removed by dissection together with the tracheal tube and internal tracheal diameter was determined. Eight biopsies were performed with 1 x 1 cm punches, being 4 in the tracheal area in contact with the tracheal tube cuff (BB₁ - anterior region, BB₂ - posterior region, BB₃ - right lateral region, and BB₄ - left lateral region), two above the cuff in areas in contact with tracheal tube (BL₁ - anterior region, and BL₂ - posterior region close to the larynx) and two below the cuff (BP₁ - anterior region, and BP₂ - posterior region close to carina), in tracheal regions not in contact with the tracheal tube.

Biopsy material was submitted to the preparation sequence for scanning electronic microscopy (SEM), as follows: fixation in 2% glutaraldehyde in 0.1 M and 7.3 pH phosphate buffer for at least 12 hours; washing with 0.1 M 7.3 pH phosphate buffer (three washings of 15 minutes each); post-fixation with 1% osmium tetroxide for one hour, in the same previous buffer and dark environment; washing in phosphate buffer (three washings of 15 minutes each); serial dehydration of pieces through solutions with increasing alcohol percentages from 7.5% to 100% (two 15-minute changes); drying in Balzers CPD-020 (the Netherlands) critical point device using liquid carbon dioxide; mounting on metal base with silver glue; gold coating (15 nm gold) in Balzer Mod. 010 (the Netherlands) device; material exam and photograph with 515 Phillips (the Netherlands) scanning electronic microscope, at 15 kv voltage.

Histological biopsies evaluation at SEM was performed by investigator and pathologist blind to the groups or samples origin, being amplex identified by dog rather than by group. Severity of mucus, cilia and epithelial cells changes was graded 0 to 4, as follows: 0 - lack of mucous, ciliary or epithelial cell changes; 1 - evidences of mucus drying, with ciliary clusters and drops of mucus with gross rugosity and/or deep sulci,

EFFECTS OF TRACHEAL TUBE CUFF LIMIT PRESSURE (25 CMH₂O) AND "SEAL" PRESSURE ON TRACHEAL MUCOSA OF DOGS

sometimes totally "wrinkled", and lack of epithelial cell changes; 2 - signs of mucous drying associated to mild ciliary loss; 3 - major ciliary rarefaction associated to epithelial cell changes, with epithelial rupture; 4 - tracheal epithelium rupture, disorganization and loss. Grades obtained in each biopsy and mean values of each tracheal mucosa area were considered: above cuff (CL), cuff area (CC) and below cuff (CP).

The following attributes were evaluated: weight (kg), length (cm), gender, internal tracheal diameter (mm), tracheal tube internal diameter (mm), tracheal tube cuff pressure in moments 0 (control), 60, 120 and 180 minutes after complete ventilation system installation in dogs; histological grade at SEM of each tracheal mucosa biopsy and mean histological grade at SEM for each tracheal mucosa region: above, below and cuff area.

Statistical Methods

Student's *t* test for two independent samples was used to compare weight, length and internal tracheal and tracheal tube diameter. Chi-square test (X²) was used to compare gender distribution. Non-parametric Friedman test for dependent samples was used to compare areas in each group; non-parametric Whitney test for two independent samples was used to compare areas between groups. ANOVA, followed by Tukey's test, was used for variables measured along time. Statistics were considered significant when *p* < 0.05.

RESULTS

Groups were homogenous in anthropometric and gender distribution (*p* > 0.05; Table I). Internal tracheal and tracheal tube diameters were not significantly different between groups (*p* > 0.05; Table II).

Table I - Demographics Data and Gender Distribution Between Groups

Groups	Weight (kg) *	Length (cm) *	Gender (M/F)
G _{seal}	15.4 ± 0.9	94.9 ± 5.5	6/2
G ₂₅	15.7 ± 2.1	97.2 ± 9.9	4/4

* Values expressed in Mean ± SD
There were no significant differences between groups (*p* > 0.05)

Table II - Internal Tracheal Diameter (Mean ± SD) and Tracheal Tube Diameter (Mode Values) in Studied Groups

Groups	Internal Tracheal Diameter (mm)	Internal Tracheal Tube Diameter (mm)
G _{seal}	17 ± 2	8.0
G ₂₅	18 ± 3	8.5

There were no differences between groups (*p* > 0.05)

Tracheal tube cuff pressures were significantly lower in G_{seal} as compared to G₂₅ in all studied moments (*p* < 0.05). Cuff pressure values were only decreased in G₂₅ at 60 minutes as compared to moment 0 (*p* < 0.05; Table III).

Table III - Tracheal Tubes Cuff Pressure Values (Mean ± SD) (cmH₂O) Obtained Along Time in the Studied Groups

Groups	Time (min)			
	0	60	120	180
G _{seal}	12 ± 4#	13 ± 5#	12 ± 3#	12 ± 4#
G ₂₅	25 ± 0	24.8 ± 0.5*	25 ± 0	25 ± 0

Significant difference between groups (*p* < 0.05)
* Significant difference in the group as compared to control (*p* < 0.05)

There were no significant differences in histological grades of tracheal epithelium biopsies at SEM between and within groups (*p* < 0.05; Tables IV and V). Mean histological grades of tracheal mucosa in contact with the cuff were significantly higher as compared to remaining areas in the same group (*p* < 0.05), but not when comparing groups (*p* > 0.05; Table V).

Table IV - Median, Minimum and Maximum Values of Histological Grade of Tracheal Epithelium Biopsies under Scanning Electronic Microscopy in the Studied Groups

Groups	Biopsy Areas							
	CB ₁	CB ₂	CB ₃	CB ₄	CL ₁	CL ₂	CP ₁	CP ₂
G _{seal}	3 (1-4)	1.5 (1-3)	1.5 (1-2)	2 (1-4)	1 (1-4)	1 (1-2)	1 (1-4)	1 (1-4)
G ₂₅	2 (1-3)	1.5 (1-4)	1.5 (1-4)	1 (1-4)	1 (1-2)	1 (1-2)	1 (1-3)	1 (1-1)

CB: cuff area; CL: above the cuff; CP: below the cuff; 1: anterior region; 2: posterior region; 3: right lateral; 4: left lateral
There were no significant differences between groups and within groups (*p* > 0.05)

Table V - Median, Minimum and Maximum Values of Mean Histological Grades of Tracheal Mucosa Areas under Scanning Electronic Microscopy in the Studied Groups

Groups	Areas		
	CB	CL	CP
G _{seal}	2.1* (1.25 - 2.50)	1.0 (1.0 - 2.50)	1.0 (1.0 - 4.0)
G ₂₅	1.75* (1.0 - 3.50)	1.25 (1.0 - 1.50)	1.0 (1.0 - 2.0)

CB: cuff area; CL: area above the cuff in contact with tracheal tube; CP: area below cuff without contact with tracheal tube
* Cuff area values were significantly higher as compared to remaining areas in each studied group. (*p* < 0.05), but without significant differences between groups (*p* > 0.05)

Major histological changes at SEM in both groups are shown in figures 1 to 4.

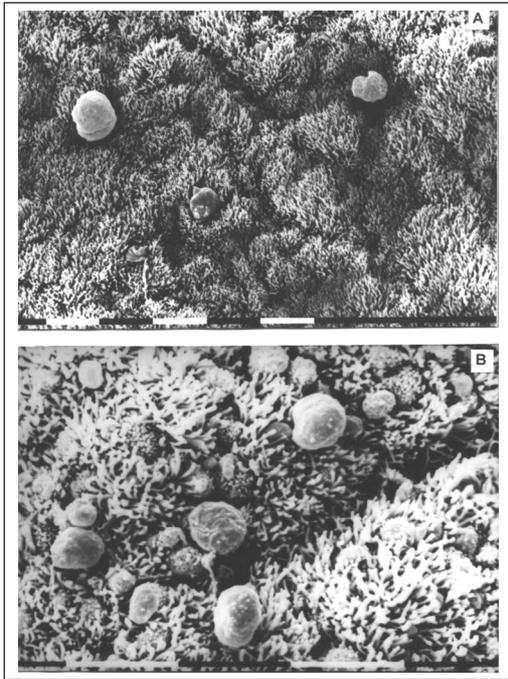


Figure 1 - Scanning Electronic Microscopy of: A) tracheal anterior wall mucosa below the cuff (CP₁) of G_{seal} dog, showing epithelium with clustered cilia and mucus drops with rugosities (1500 x); B) detail showing clustered cilia and mucus drops of several sizes and with rugosities (3400 x), characterizing histological evaluation grade 1

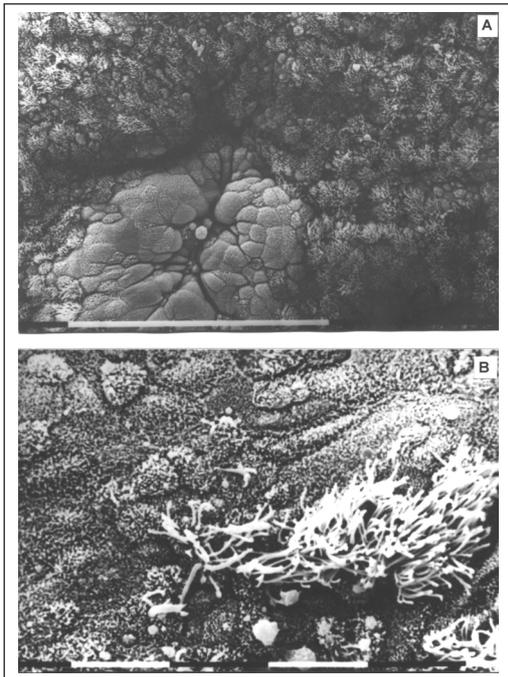


Figure 2 - Scanning Electronic Microscopy of: A) tracheal anterior wall mucosa, above the cuff (CL₂) of G_{seal} dog, showing foci of ciliary loss and clustered cilia (750 x), characterizing histological evaluation grade 2; B) detail of healthy epithelium with ciliary loss (3000 x)

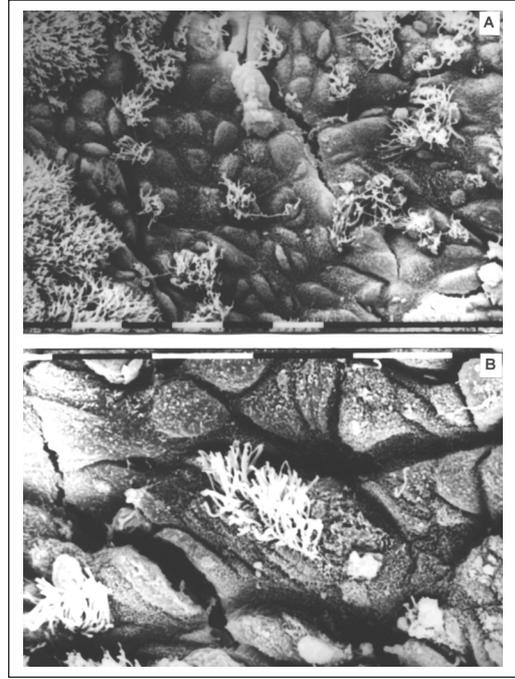


Figure 3 - Scanning Electronic Microscopy of: A) left tracheal lateral wall mucosa in contact with cuff (CB₄) in G_{seal} dog, showing ciliary devastation and tracheal epithelium rupture (1500 x), characterizing histological evaluation grade 3; B) detail showing major ciliary loss and tracheal epithelium rupture (3000 x)

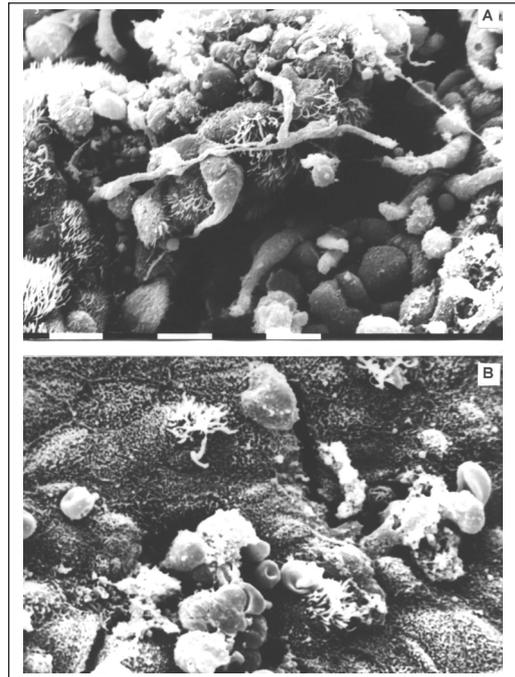


Figure 4 - Scanning Electronic Microscopy of: A) anterior tracheal mucosa in contact with cuff in G₂₅ dog, showing epithelial rupture, disorganization, loss of tracheal epithelium and "loose" cells (1500 x), characterizing histological evaluation grade 4; B) detail showing epithelial rupture, ciliary devastation, dried mucus drops, cell debris and red blood cells (2300 x)

DISCUSSION

The study has confirmed the importance of maintaining tracheal tube cuff pressure below the critical level of 30 cmH₂O to prevent major tracheal mucosa damage. On the other hand, it has not been shown that cuff pressure decrease to values well below critical 25 cmH₂O, such as values obtained in the group receiving "seal" pressure values (Table III), would determine even minor changes in tracheal mucosa in contact with the cuff (Tables IV and V; Figures 1 to 4).

Our results have also shown that, in spite of using cuff pressures considered "safe", for being below the critical value of 30 cmH₂O, there were still in some experiments, regardless of the group, major changes in tracheal mucosa in contact with tracheal tube, especially with the cuff (Tables IV and V; Figures 3 and 4), and that in a way those changes are inevitable because there is always cuff pressure on the mucosa, although it may be minimal.

After collecting post-tracheotomy tracheal fragments of 26 ICU patients who had remained under tracheal intubation with low-pressure cuffs not exceeding 48 hours, Alvarez & Aragón (1981)⁶ have observed tracheal mucosa changes at SEM, determined by the presence of the cuff. According to the authors, there is initially tracheal mucosa edema, characterized by swelling and increased intercellular separation, in addition to inflammatory-type infiltration. As a consequence of the edema, there is no blood irrigation in the contact area determining epithelial desquamation by cell destruction or death. Cells lose their cilia and there is cytoplasm lysis. Blood capillaries rupture determines the leakage of their content to the injured area, configuring micro-ulcers at SEM. Then, injury is invaded by fibrin network, starting micro-wound healing. However, the presence of tracheal tube and cuff maintains ischemia in the area, leading to incomplete healing and maintaining a necrosis-repair-necrosis process while tracheal tube is not removed.

Tracheal mucosa epithelial changes observed in our study are certainly even less severe than those previously described because tracheal intubation time was well shorter (3 hours). Even so, major tracheal mucosa changes have already occurred in this period indicating their early development. Of course, such changes are considered mostly mild, but in some experiments there have been major changes in areas in contact with the cuff, regardless of the group (Figures 3A and 3B, 4A and 4B), including epithelial disorganization and blood leakage (red cells) from blood capillaries to the epithelial surface (Figure 4B).

Animals' trachea removal was always preceded by its transfixation to the tracheal tube to prevent tracheal tube displacement and to assure contact points of the cuff with the tracheal mucosa before performing the biopsies. Adequate material was used to obtain biopsies to prevent possible injuries to tracheal mucosa during its handling. This care could not prevent some changes in the area, which normally should not exist, such as those seen in biopsies of tracheas not in contact with the tracheal tube. It should be highlighted that

tracheobronchial tree mucosa is very delicate, being made of a single epithelial layer of ciliated cells and that any contact with it, even minor, may determine injuries. Damages at SEM observed in both groups in the tracheal mucosa in contact with the cuff may be considered minor and less numerous as compared to other studies, where slightly higher pressures were used as compared to G₂₅, that is 30 cmH₂O⁹. These findings led us to consider 25 cmH₂O cuff pressure and not current critical 30 cmH₂O pressure as the upper limit, above which more severe tracheal mucosa injuries may be determined.

Tracheal mucosa epithelial changes, characterized by histological changes grade 1, were determined by the use of mean low of cold and dry gases (2 L.min⁻¹). Even using a semi-closed system with soda lime which, in reacting with expired carbon dioxide produces heat and moist, authors have observed major tracheal mucosa drying with this gas flow¹².

It should be stressed that even maintaining cuff pressure below limit pressure, it might have been some degree of tracheal venous and lymphatic flow obstruction. End tracheal capillary bed pressure is 12 mmHg (16 cmH₂O) and end lymphatic pressure is 3 - 5 mmHg, and pressures above these values may determine tracheal mucosa congestion and edema, respectively.

What could possibly determine these tracheal mucosa micro-ulcerations?

Combes et al.¹³, in patients submitted to general anesthesia with nitrous oxide, have shown in the group without cuff pressure increase (initial pressure of 20 to 30 cmH₂O) due to its filling with saline solution, a lower incidence (32%) of tracheal mucosa micro-ulcerations, followed by lower incidence of postoperative odynophagia, as compared to the group with air-filled cuffs. In this group, 3 to 4 hours after nitrous oxide inhalation, there has been cuff pressure increase to mean values of 50 cmH₂O, followed by significant increase in the incidence of tracheal mucosa micro-ulcerations (100%) and postoperative odynophagia, but not of hoarseness or dysphagia.

On the other hand, an also recent study¹⁴ could not show a protective effect of limited cuff pressure in terms of the incidence of postoperative odynophagia. Other studies^{15,16}, however, have shown a lower incidence of odynophagia when cuff pressure is maintained below the critical value of 25 to 30 cmH₂O. Differences among several types of cuffs as a function of the contact area with the tracheal mucosa may explain these different observations^{17,18}.

Considering that tracheal tube cuff inflation has the two-fold objective of preventing gastric content regurgitation to the respiratory tract and the leakage of inspired gases during artificial ventilation, and faced to SEM results found in our research, the following question is raised: which should be our procedure in terms of pressure levels to be applied to the cuff?

It should be initially considered that the "seal" determined by tracheal tube high-volume and low-pressure cuffs may be adequate to prevent "escape" of inspired gases, but will not necessarily prevent liquid content aspiration¹⁹. Due to its

large diameter when at rest, folds may be formed in cuff's wall during inflation, which may predispose to the formation of small channels, which may favor pharyngeal content aspiration by capilarity²⁰.

Several other factors may prevent or increase cuff folds. So, the ratio between cuff and tracheal diameter should be as close as possible to prevent folds²¹. Folds decrease with increased cuff pressure, but increase when cuff walls are thicker and less flexible, which increases internal folds diameter²². Of course, inspired fluid viscosity is also important because gastric fluid is less viscous as compared to blood, which helps its passage through cuff folds and pulmonary aspiration. In our study, internal diameter of tracheas and tracheal tubes were not significantly different between groups (Table II). So, in theory, the possibility of cuff folds was the same for both groups.

In establishing "seal" pressure for low-pressure and high-volume cuffs, authors have observed that this pressure is higher in males as compared to females²³. This is probably due to different tracheal configuration between genders. So, males' trachea is more asymmetric and more triangular as compared to females who, in general, have elliptic configuration²¹. The triangular configuration helps the formation of cuff folds, which need higher cuff pressures for their obliteration. In our research, gender distribution between groups was not significant (Table I). There is still no study on tracheal configuration in dogs, according to gender.

According to Lomholdt²⁴, minimum pressure exerted by the cuff on the tracheal mucosa to prevent aspiration is equal to the hydrostatic pressure of the column of blood, vomiting or fluids, which may fill mouth, pharynx and trachea above the cuff. This hydrostatic pressure depends on the unleveling between the upper part of the cuff and the oral cavity, which is changed according to patients' position. This pressure is 10 to 15 cmH₂O in the supine position, and 10 to 20 cmH₂O in the standing position. As a safety measure, the author recommends a higher pressure, around 5 cmH₂O above these values, resulting in 20 cmH₂O in the supine position and 25 cmH₂O in the standing position.

So, the incidence of similar tracheal mucosa injuries in both groups has elected 25 cmH₂O as the pressure to be used in long surgeries without nitrous oxide, or in Intensive Care Units, due to current tracheal tubes standardization (high volume and low pressure), to possible protection against regurgitated gastric content aspiration^{19,20} and to easy monitoring. On the other hand, when using nitrous oxide during anesthesia for long head and neck surgeries, it is difficult to control cuff pressure and cuff "seal" pressure may be an option because, although without enough evidences, it may minimize cuff pressure increase by nitrous oxide spread inside the cuff.

Unfortunately, tracheal tube test cuff pressure, indirect measure of cuff pressure on tracheal mucosa, is not routinely determined both by the anesthesiologist and physicians and nurses working in ICUs²⁵⁻²⁷. Cuff pressure estimate by test cuff palpation may also not detect high cuff pressures²⁸.

In conclusion, in dogs in our experimental conditions, tracheal tube high volume and low pressure cuff inflation with sufficient air to determine 25 cmH₂O or minimum "seal" pressure to prevent inhaled gas leakage during artificial ventilation has determined minor injuries to the tracheal mucosa in contact with the cuff, and without differences between both pressures.

REFERÊNCIAS - REFERENCES

01. Klainer AS, Turndorf H, Wu HW - Surface alterations due to endotracheal intubation. *Am J Med*, 1975;58:674-683.
02. Martins RHG, Braz JRC, Bretan O - Lesões precoces da intubação traqueal. *Rev Bras Otorrinolaringol*, 1995;61:343-348.
03. Berlaug J - Prolonged endotracheal intubation vs tracheostomy. *Crit Care Med*, 1986;14:742-746.
04. Stauffer J, Olsen D, Petty HT - Complications and consequences of endotracheal intubation and tracheostomy. *Am J Med*, 1981;70:65-76.
05. Colognesi JR, Vianna PTG, Braz JRC et al - Granuloma de laringe pós-intubação traqueal. Apresentação de um caso. *Rev Bras Anesthesiol*, 1977;27:106-111.
06. Alvarez AC, Aragón JA - Alteraciones precoces de la mucosa traqueal, producidas por la intubación observadas mediante el microscopio electrónico de barrido (M.E.B). *An Otorrinolaringol Ibero-Am*, 1981;5:369-380.
07. Nordin V - The trachea and cuff induced tracheal injury. *Acta Otolaryngol*, 1977;345:(Suppl):7-71.
08. Seegobin RD, Van Hasselt GL - Aspiration beyond endotracheal cuffs. *Can J Anesth*, 1986;33:273-279.
09. Abud TMV - Efeitos da pressão do balonete de tubos traqueais contendo ou não válvula reguladora de pressão sobre a mucosa traqueal, durante anestesia com óxido nítrico no cão. (Dissertação) Botucatu, Faculdade de Medicina, Universidade Estadual Paulista, 2001;91.
10. Willis BA, Latto IP, Dyson A - Tracheal tube cuff pressure: clinical use of the cardiff controller. *Anaesthesia*, 1988;43:312-314.
11. Guyton DC, Barlow MR, Besselievre TR - Influence of airway pressure on minimum occlusive endotracheal tube cuff pressure. *Crit Care Med*, 1997;25:91-94.
12. Bisinotto FMB, Braz JRC, Martins RHG et al - Tracheobronchial consequences of the use of heat and moisture exchangers in dogs. *Can J Anesth*, 1999;46:893-903.
13. Combes X, Schaulvliege F, Peyrouset O et al - Intracuff pressure and tracheal morbidity. *Anesthesiology*, 2001;95:1120-1124.
14. Bennet MH, Isert PR, Cumming RG - Postoperative sore throat and hoarseness following tracheal intubation using air or saline to inflate the cuff: a randomized controlled trial. *Anaesth Intensive Care*, 2000;28:408-413.
15. Mandoe H, Nikolasjen I, Lintrup U et al - Sore throat after endotracheal intubation. *Anesth Analg*, 1992;74:897-900.
16. Suzuki N, Kooguchi K, Hirose M et al - Postoperative hoarseness and sore throat after tracheal intubation: Effect of a low intracuff pressure of endotracheal tube and usefulness of cuff pressure indicator. *Masui*, 1999;48:1091-1195.
17. Loeser EA, Machin R, Colley J et al - Postoperative sore throat: importance of endotracheal tube conformity versus cuff design. *Anesthesiology*, 1978;49:430-432.
18. Jensen PS, Hommelgaard P, Sondergaard P et al - Sore throat after operation. Influence of tracheal intubation intracuff pressure and type of cuff. *Br J Anaesth*, 1982;54:453-457.

19. Pavlin EE, Vannimwegan D, Hornbein TF - Failure of a high compliance low-pressure cuff to prevent aspiration. *Anesthesiology*, 1975;42:216-219.
20. Hannallah MS, Suyderhoud JP - Endotracheal Tube and Respiratory Care, em: Benumof JL - *Airway Management. Principles and Practice*. St Louis: Mosby, 1996;763-788.
21. Mehta S, Myat HM - The cross-sectional shape and circumference of human trachea. *Ann R Coll Surg Engl*, 1984;66:356-358.
22. Petrine OU - Prevention of silent aspiration due to leaks around cuffs of endotracheal tubes. *Anesth Analg*, 1986;65:777-780.
23. Inada T, Uesugi F, Kawagi S et al - The tracheal tube with a high-volume, low pressure cuff at various airway inflation pressures. *Eur J Anaesthesiol*, 1998;16:629-632.
24. Lomholdt N - A new tracheostomy tube: theoretical considerations on minimum cuff pressure. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1971;44:(Suppl):6-9.
25. Braz JRC, Navarro LHC, Takata IH et al - Endotracheal tube cuff pressure: need for precise measurement. *São Paulo Med J*, 1999;117:243-247.
26. Medalha S, Oliveira LC, Godoy I - Avaliação da pressão no balonete das cânulas endotraqueais e de traqueostomia em pacientes na Unidade de Terapia Intensiva. *Rev Bras Terap Intens*, 1999;11:90-93.
27. Spittle CSN, Beavis SE - Do you measure cuff pressure? A survey of clinical practice. *Br J Anaesth*, 2001;87:344-345.
28. Fernandez R, Blanch L, Mancebo J et al - Endotracheal tube cuff pressure assessment: pitfalls of finger estimation and need for objective measurement. *Crit Care Med*, 1990;18:1423-1426.

RESUMEN

Castilho EC, Braz JRC, Catâneo AJM, Martins RHG, Gregório EA, Monteiro ER - Efectos de la Presión Límite (25 cmH₂O) y Mínima de "Sello" del Balón de Tubos Traqueales Sobre la Mucosa Traqueal del Can

JUSTIFICATIVA Y OBJETIVOS: Las lesiones de la mucosa traqueal en contacto con el balón del tubo traqueal son proporcionales a la presión ejercida por el balón y al tiempo de exposición. La finalidad fue estudiar las eventuales lesiones de la mucosa del segmento traqueal en contacto con el balón del tubo traqueal insuflado con volumen de aire suficiente para obtener presión de "sello" o con la presión límite de 25 cmH₂O, abajo de la presión crítica de 30 cm de agua para producción de lesión de la mucosa traqueal.

MÉTODO: Diez y seis canes fueron sometidos a anestesia venosa y ventilación artificial. Los canes fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos de acuerdo con la presión en el balón del tubo traqueal (Portex Blue-Line, Inglaterra): G_{sello} (n = 8) balón con presión mínima de "sello" para impedir vaciamiento de aire durante la respiración artificial; G₂₅ (n = 8) balón insuflado hasta la obtención de la presión de 25 cmH₂O. La medida de la presión del balón fue realizada por medio de manómetro digital en el inicio (control) y después de 60, 120 y 180 minutos. Después del sacrificio de los canes, fueron hechas biopsias en las áreas de la mucosa traqueal adyacentes al balón y al tubo traqueal para análisis de microscopio electrónico de barradura (MEV).

RESULTADOS: La presión media del balón en G₂₅ se mantuvo entre 24,8 y 25 cmH₂O y en G_{sello} entre 11,9 y 12,5 cmH₂O durante el experimento. Las alteraciones a la MEV fueron pequeñas y no significativamente diferentes en los grupos (p > 0,30), pero ocurrieron lesiones más intensas en las áreas de contacto de la mucosa traqueal con el balón del tubo traqueal, en los dos grupos, en relación a las áreas de la mucosa adyacentes o no al tubo traqueal (p < 0,05).

CONCLUSIONES: En el can, en las condiciones experimentales empleadas, la insuflación del balón de tubo traqueal en un volumen de aire suficiente para determinar presión límite de 25 cmH₂O o de "sello" para impedir vaciamiento de aire, determina lesiones mínimas de la mucosa traqueal en contacto con el balón y sin diferencia significativa entre ellas.