

# Avaliação da Anestesia com Baixo Fluxo de Gases, Comparando Ventilação com Pressão Controlada à Ventilação com Tempo Controlado - Pressão Limitada e Fluxo Constante de Gases. Modelo Experimental em Coelhos \*

## *Evaluation of Low Flow Anesthesia, Comparing Pressure-Controlled Ventilation to Time-Cycled Pressure-Limited Continuous Flow Ventilation. Experimental Model in Rabbits*

Eliana Bonetti<sup>1</sup>, Denise Tabacchi Fantoni<sup>2</sup>, José Otávio Costa Auler Júnior, TSA<sup>3</sup>

### RESUMO

Bonetti E, Fantoni DT, Auler Jr JOC - Avaliação da Anestesia com Baixo Fluxo de Gases, Comparando Ventilação com Pressão Controlada à Ventilação com Tempo Controlado - Pressão Limitada e Fluxo Constante de Gases. Modelo Experimental em Coelhos

**Justificativa e Objetivos** - Embora sejam amplamente conhecidas as vantagens que envolvem sistemas de anestesia com reinalação e baixo fluxo, estes ainda são pouco empregados em animais de pequeno porte e em pediatria. O modelo experimental deste estudo foi delineado, procurando-se avaliar a viabilidade do sistema com reinalação e fluxo de gases entre 500 e 1.000 ml.min<sup>-1</sup> em animais de pequeno porte, bem como comparar a ventilação nos modos tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases, com a pressão controlada (PCV), em um novo equipamento desenvolvido para anestesia.

**Método** - Dezesesseis coelhos (fêmeas) foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos (GI e GII), anestesiados com halotano, e submetidos à ventilação controlada mecânica. Em GI, permitiam-se ajustes nos parâmetros ventilatórios do ventilador (pressão de pico inspiratório, frequência respiratória e tempo inspiratório), de forma a manter normocapnia, volume corrente entre 6 e 8 ml.kg<sup>-1</sup>, e pH sanguíneo arterial entre 7,35 e 7,45. Em GII, os ajustes eram realizados somente no momento controle.

**Resultados** - Verificou-se reinalação de dióxido de carbono em ambos os grupos ao se avaliar o sistema com reinalação, independente do modo de ventilação. O pH sanguíneo arterial manteve-se dentro dos parâmetros fisiológicos no grupo GI, e no GII verificou-se acidose respiratória ao se avaliar o sistema com reinalação durante a ventilação com pressão controlada.

**Conclusões** - Com os resultados obtidos conclui-se que este sistema circular, em fluxos entre 500 e 1.000 ml.min<sup>-1</sup>, é uma alternativa em anestesia em pacientes de baixo peso, desde que a monitorização necessária seja feita. A eficiência da ventilação dependeu primariamente dos parâmetros ventilatórios ajustados, da complacência e resistência das vias aéreas, e nem tanto do modo de ventilação escolhido.

UNITERMOS: ANIMAL: coelho; EQUIPAMENTOS, Aparelho de anestesia: sistema respiratório, baixo fluxo; VENTILAÇÃO: controlada mecânica

### SUMMARY

Bonetti E, Fantoni DT, Auler Jr JOC - Evaluation of Low Flow Anesthesia, Comparing Pressure-Controlled Ventilation to Time-Cycled Pressure-Limited Continuous Flow Ventilation. Experimental Model in Rabbits

**Background and Objectives** - Despite the well-known advantages of rebreathing systems and low flow anesthesia, they are seldom used in small animals and pediatric anesthesia. The experimental model of this study was designed to evaluate a rebreathing system with flows between 500 to 1,000 ml.min<sup>-1</sup> in small animals, in addition to comparing time-controlled pressure-limited and constant gas flow ventilation to pressure-controlled ventilation in a new anesthesia machine.

**Methods** - Sixteen female rabbits were randomly allocated in two groups (GI and GII), anesthetized with halothane and submitted to mechanically-controlled ventilation. Adjustments in ventilatory parameters were allowed in GI (peak inspiratory pressure, respiratory rate and inspiratory time) to maintain normocapnia, tidal volume between 6 and 8 ml.kg<sup>-1</sup> and arterial pH between 7.35 and 7.45. Adjustments in GII were only allowed at control moment.

**Results** - Carbon dioxide rebreathing was observed in both groups when rebreathing systems were evaluated, regardless of the ventilation mode. Arterial pH was maintained within physiologic parameters in GI, and respiratory acidosis was observed in GII when the rebreathing system was evaluated during pressure-controlled ventilation.

**Conclusions** - According to our results, a circle system with flows between 500 and 1,000 ml.min<sup>-1</sup> may be an alternative for low weight patients anesthesia, provided necessary monitoring is performed. Ventilation efficiency was primarily a function of adjusted ventilatory parameters, of airways compliance and resistance and not so much of the ventilation mode.

KEY WORDS - ANIMAL: rabbit; EQUIPMENTS, Anesthesia machine: respiratory systems, low-flow; VENTILATION: mechanical controlled

\* Recebido do (Received from) Laboratório Experimental da Disciplina de Anestesiologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - USP (LIM - 8).

1. Mestre em Cirurgia na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo  
2. Professora Associada na Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo  
3. Professor Titular na Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

Apresentado (Submitted) em 08 de fevereiro de 2002

Aceito (Accepted) para publicação em 14 de maio de 2002

Correspondência para (Mail to):

Dra. Eliana Bonetti

Travessa Monteiro Lobato, 170 - Centro  
09721-140 São Bernardo do Campo, SP

© Sociedade Brasileira de Anestesiologia, 2003

## INTRODUÇÃO

A ventilação durante a anestesia deve levar em consideração as particularidades anatômicas, fisiológicas e patológicas de cada paciente, cabendo ao anesthesiologista buscar novos conceitos que aumentem a segurança, reduzam os custos e melhorem a eficácia, mas sem comprometer a oxigenação e ventilação.

Dentre estes conceitos, a técnica de anestesia que utiliza baixo fluxo de gases frescos conserva a umidade e temperatura das vias aéreas<sup>1,2</sup>, promove a redução na poluição do ambiente e do consumo dos anestésicos inalatórios<sup>3,4</sup>; mas em contrapartida, requer ampla monitorização<sup>5</sup> pelo potencial risco de hipoxemia e hipercapnia.

Outro ponto importante é a redução do volume corrente na vigência de complacência pulmonar reduzida<sup>6-8</sup>, denominado estratégia protetora<sup>9-11</sup>. Esta restrição do volume corrente leva à redução na pressão transpulmonar e, com isso, ao menor risco de barotrauma; mas em contrapartida, há elevação do dióxido de carbono<sup>12</sup>. Embora a restrição no volume corrente tenha sua indicação, a ventilação com valores inferiores aos habituais no período peri-operatório talvez deva ser considerada, mesmo sem haver lesão pulmonar prévia. Este menor volume corrente instituído seria uma tentativa de evitar lesões ao parênquima pulmonar que possam ser causadas pelas técnicas habituais de ventilação<sup>13,14</sup>.

A dificuldade em ventilar animais com baixo peso ou mesmo recém-nascidos pode ser explicada pelo volume pulmonar bastante pequeno e pela frequência respiratória elevada, em que se busca a eficiência da troca gasosa entre os alvéolos e a atmosfera, sem contanto induzir lesões pelo ventilador. Embora os aparelhos modernos de anestesia e seus ventiladores estejam mais efetivos na oferta de volume corrente pequeno e tenham incorporado recursos de ventilação como a PEEP e a ventilação com pressão controlada, estes ainda foram pouco avaliados em anestesia.

A ventilação com pressão controlada, já amplamente utilizada no âmbito da terapia intensiva, parece reduzir o risco de lesão induzida pelo ventilador, por permitir um controle mais preciso dos níveis máximos de pressão nas vias aéreas e pela distribuição mais homogênea dos gases nos alvéolos<sup>9,12,15</sup>. O principal cuidado com este modo de ventilação refere-se ao volume corrente que requer estrita vigilância, pois sofre modificações em função das alterações que ocorrem com a complacência e resistência das vias aéreas<sup>9,12</sup>.

Já a ventilação no modo tempo controlado com pressão limitada é aplicada à ventilação de neonatos por proporcionar fluxo constante de gases frescos, que leva ao menor risco de reinalação de dióxido de carbono e ainda limita a pressão nas vias aéreas, reduzindo assim a possibilidade de barotrauma.

A importância do aumento do espaço morto proporcionado pela inserção dos sensores dos monitores não deve ser deixada em segundo plano, em pacientes com pequeno volume pulmonar.

A proposta deste estudo foi verificar a viabilidade da técnica de anestesia com fluxo de gases frescos entre 500 e 1.000

ml.min<sup>-1</sup> e volume corrente entre 6 e 8 ml.kg<sup>-1</sup>, com aparelho de anestesia desenvolvido para uso indistinto, em pacientes adultos ou pediátricos, bem como comparar a ventilação com pressão controlada (PCV) com a ventilação a tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases.

## MÉTODO

Foram utilizados 16 coelhos fêmeas, com peso entre 2 e 3 kg, da linhagem Nova Zelândia, que foram subdivididos de forma aleatória em dois grupos: grupo I (GI) e II (GII). Os animais receberam medicação pré-anestésica com acepromazina (1 mg.kg<sup>-1</sup>) por via muscular, seguido da indução com propofol (10 mg.kg<sup>-1</sup>) por via venosa e manutenção com halotano e fração inspirada de O<sub>2</sub> entre 0,40 e 0,60. Os animais foram traqueostomizados, sendo usada sonda sem balonete (2,5 a 3 mm diâmetro interno) e feita ligadura desta à traquéia com fio cirúrgico, para evitar escape de gases. Cateterizou-se a artéria auricular e a veia auricular lateral, por onde se monitorizava a pressão arterial e a colheita de sangue para análises e fluidoterapia (solução de Ringer com lactato, 5 - 10 ml.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>), respectivamente. Administrou-se brometo de pancurônio (0,1 mg.kg<sup>-1</sup>) por via venosa e iniciou-se a ventilação controlada mecanicamente no aparelho de anestesia Linea A (INTERMED Equip. Med. Hosp. - São Paulo - Brasil).

No grupo I foram feitos ajustes no início dos diferentes momentos avaliados, nos parâmetros de ventilação (tempo inspiratório, frequência respiratória, pressão de pico inspiratório), de forma a permitir ventilação adequada, mantendo-se, porém, o volume corrente entre 6 e 8 ml.kg<sup>-1</sup>. No grupo II, estes ajustes só eram permitidos no momento controle, devendo permanecer constantes nos outros momentos avaliados.

Os animais foram monitorizados com monitor multiparamétrico (Hewlett Packard - Sist. Monit. Mod. M - 1165A/66A) que avaliou de forma contínua a frequência e ritmo cardíacos, a temperatura retal e a pressão arterial invasiva. O monitor de mecânica respiratória (VENT CHECK - Novamatrix Med. Sys Inc - Connecticut - USA) avaliou a pressão de pico inspiratório (PIP), a pressão positiva ao final da expiração (PEEP), o volume corrente (VC), o volume minuto (Vmin), o tempo inspiratório (Tins), a pressão média nas vias aéreas (MAP) e a complacência dinâmica (Cdin). O analisador de gases respiratórios (POET IQ - Criticare System - mod. 602-6B - Waukesha - USA) forneceu o dióxido de carbono exalado (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>), o dióxido de carbono reinalado (CO<sub>2</sub>ins), a fração inspirada e exalada de oxigênio (FiO<sub>2</sub>, FeO<sub>2</sub>) e a concentração de halotano exalado (% Hal<sub>exal</sub>). A análise dos gases sanguíneos (PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub>), pH sanguíneo arterial, bicarbonato plasmático, hematócrito e hemoglobina foi realizada pelo Analisador Clínico Portátil (i-STAT Corp, New Jersey, USA). Avaliou-se também o espaço morto em mililitros, dado pelos sensores dos monitores de mecânica respiratória, do analisador de gases e do tubo traqueal.

Inicialmente os animais foram mantidos em sistema sem reinalação, realizando-se ajustes no ventilador até que se obtivessem volume corrente entre 6 e 8 ml.kg<sup>-1</sup>, pressão parcial de dióxido de carbono arterial (PaCO<sub>2</sub>) entre 35 e 45 mmHg e pH sangüíneo arterial entre 7,35 e 7,45. Após obtidos esses valores, os animais seguiam ao grupo a que pertenciam - GI ou GII, iniciando-se a contagem de tempo. O fluxo de gases utilizado nos sistemas sem reinalação foi acima de 4 L.min<sup>-1</sup> e nos sistemas com reinalação entre 500 e 1.000 ml.min<sup>-1</sup>.

Os animais permaneciam por 20 minutos em cada momento avaliado, ao fim dos quais se anotavam os parâmetros acima descritos.

Os momentos avaliados foram: momento controle (M0), avaliando sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases; M1 = CA1-TC (após 20 minutos de ventilação no sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases); M2 = CF-TC (após 20 minutos de ventilação em sistema com reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases); M3 = CA2-TC (após mais 20 minutos de ventilação no sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases); M4 = CF-PC (após 20 minutos de ventilação em sistema com reinalação e ventilação no modo pressão controlada); M5 = CA3-TC (após mais 20 minutos de ventilação no sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases) (Quadro I).

Os dados foram analisados pelo método ANOVA, para medidas repetidas, seguido do teste de Tuckey. O teste *t* de Student foi empregado para analisar as diferenças entre os grupos estudados, sendo o grau de significância estabelecido em 5% ( $p < 0,05$ ) e os valores demonstrados na forma de média e desvio-padrão. A correlação de Pearson foi feita sobre algumas variáveis de interesse, estabelecendo o grau de significância em 5% ( $p < 0,05$ ).

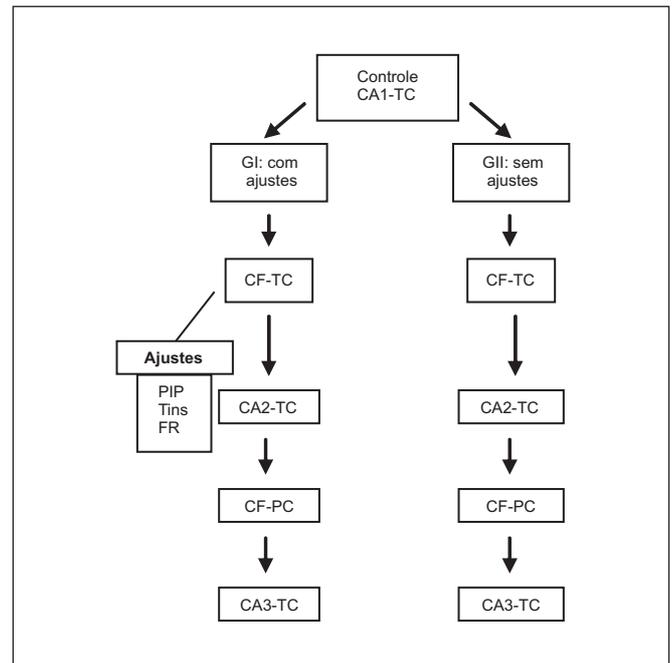
## RESULTADOS

O peso médio dos animais foi de 2,54 ± 0,37 kg em GI, e 2,25 ± 0,21 kg em GII.

Em ambos os modos de ventilação avaliados, pressão controlada (PC) e tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases (TC) - obteve-se satisfatória manutenção dos valores de pH sangüíneo arterial e pressão parcial de dióxido de carbono arterial (PaCO<sub>2</sub>) (Tabela I), empregando-se fluxos de gases entre 500 e 1.000 ml.min<sup>-1</sup>.

No grupo com ajuste dos parâmetros de ventilação (GI), o volume corrente (VC) resultante foi maior que no grupo sem ajuste (GII), havendo inclusive diferença significativa ao comparar os dois grupos (GI x GII), durante o emprego do sistema com reinalação (CF) e nos dois modos de ventilação avaliados (TC e PC), ainda que em ambos os grupos permanecessem dentro da faixa estabelecida entre 6 e 8 ml.kg<sup>-1</sup> (Tabela I).

Quadro I - Momentos Observados nos Grupos com Ajustes dos Parâmetros de Ventilação (GI) e sem Ajustes dos Parâmetros de Ventilação (GII)



CONTROLE - sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases; CA1-TC, sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases; CF-TC, sistema com reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases; CA2-TC, sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases; CF-PC, sistema com reinalação e ventilação no modo pressão controlada; CA3-TC, sistema sem reinalação e ventilação no modo tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante de gases.; GI, grupo com ajustes dos parâmetros de ventilação; GII, grupo sem ajustes dos parâmetros de ventilação; PIP - pressão de pico inspiratório (cmH<sub>2</sub>O); Tins - tempo inspiratório (s); FR - frequência respiratória (vpm)

A pressão parcial de oxigênio arterial (PaO<sub>2</sub>) comportou-se de forma similar à PaCO<sub>2</sub>, ou seja, ao avaliar o sistema com reinalação, durante a ventilação no modo pressão controlada (CF-PC), houve diferença significativa entre GI e GII (Tabela I).

Ainda no que diz respeito à oxigenação, no grupo GII houve significância estatística na fração exalada de oxigênio (FeO<sub>2</sub>), ao comparar sistemas sem reinalação aos com reinalação (Tabela I).

Independentemente do grupo avaliado, GI ou GII, houve reinalação de dióxido de carbono (CO<sub>2ins</sub>) ao avaliar os sistemas com reinalação (Tabela I).

Verificaram-se valores maiores na pressão parcial de dióxido de carbono arterial (PaCO<sub>2</sub>) nos sistemas com reinalação (CF-TC e CF-PC) quando comparados aos sem reinalação (Controle; CA1-TC; CA2-TC e CA3-TC), havendo significância estatística nos tempos estudados do grupo GII, sendo o mesmo não observado em GI. Também houve significância estatística na PaCO<sub>2</sub>, ao comparar-se GI com GII no momento CF-PC (Figura 1 e Tabela I).

Tabela I - Parâmetros de Ventilação e Oxigenação (Média ± DP)

Parâmetro	Grupo	Momentos Observados					
		Controle (M0)	CA1-TC (M1)	CF-TC (M2)	CA2-TC (M3)	CF-PC (M4)	CA3-TC (M5)
CO <sub>2INS</sub> (mmHg)	GI	0*	0*	3,1 ± 2,5*	0*	4,6 ± 2,0*	0*
	GII	0*	0*	4,3 ± 1,8*	0*	5,9 ± 2,4*	0*
pH	GI	7,43 ± 0,04	7,43 ± 0,03	7,41 ± 0,09	7,45 ± 0,05	7,38 ± 0,06	7,43 ± 0,06
	GII	7,44 ± 0,03*	7,43 ± 0,03*	7,35 ± 0,05*	7,42 ± 0,03*	7,32 ± 0,06*	7,39 ± 0,04*
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	GI	40,80 ± 3,90	39,90 ± 4,50	43,60 ± 10,90	38,70 ± 6,60	48,00 ± 8,00**	40,90 ± 8,40
	GII	38,50 ± 4,60*	38,30 ± 5,30*	51,20 ± 10,70*	43,00 ± 6,20*	59,10 ± 11,90***	48,70 ± 8,20*
PO <sub>2</sub> (mmHg)	GI	173 ± 28	177 ± 25	186 ± 16	187 ± 17	183 ± 16**	176 ± 13
	GII	185 ± 18*	182 ± 14*	178 ± 13	178 ± 14	165 ± 15***	173 ± 18
FiO <sub>2</sub> (%)	GI	43,71 ± 4,61	43,71 ± 4,61	44,29 ± 5,00	43,86 ± 4,26	43,29 ± 4,89	43,00 ± 4,90
	GII	41,62 ± 1,41	41,62 ± 1,41	41,50 ± 1,70	41,50 ± 1,41	41,50 ± 2,30	40,90 ± 1,46
FeO <sub>2</sub> (%)	GI	38,86 ± 4,14	38,71 ± 4,15	38,71 ± 4,90	39,30 ± 4,20	37,43 ± 4,80	38,43 ± 4,31
	GII	36,25 ± 1,40*	36,40 ± 1,41*	34,62 ± 1,51*	36,12 ± 1,46*	34,25 ± 2,05*	35,12 ± 1,64*
VC (ml)	GI	17 ± 5	17 ± 2	20 ± 5**	19 ± 6	16 ± 3**	18 ± 7
	GII	16 ± 3*	15 ± 1*	14 ± 3**	15 ± 3	12 ± 4***	14 ± 2

\* p < 0,05, sistema com reinalação difere do sem reinalação

\*\* p < 0,05, GI difere de GII

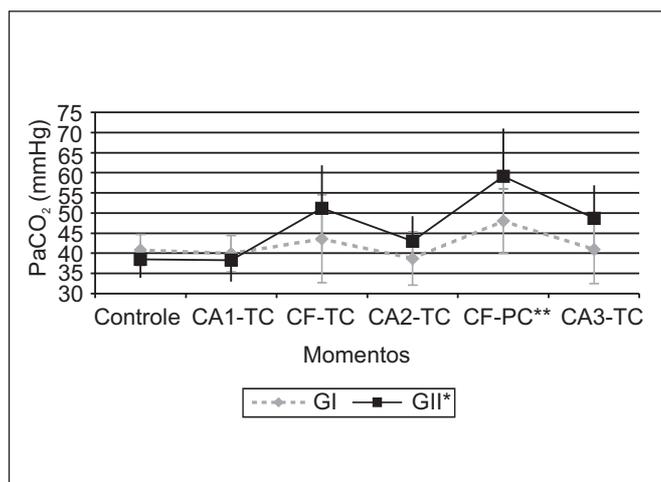


Figura 1 - Variação da PaCO<sub>2</sub> (mmHg) (Média ± DP)

\* p < 0,05, sistema com reinalação difere do sem reinalação, em todos momentos avaliados em GII

\*\* p < 0,05, GI difere de GII, em CF-PC

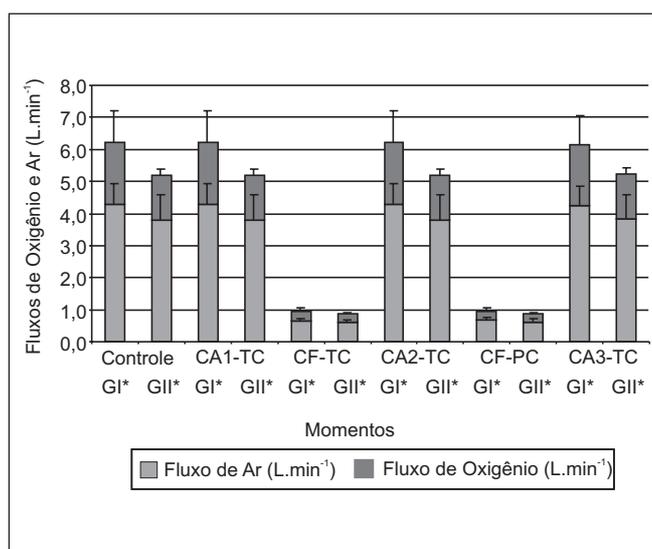


Figura 2 - Fluxos de Oxigênio e Ar (L.min<sup>-1</sup>) (Média ± DP)

\* p < 0,05, sistema com reinalação difere do sem reinalação, em todos momentos avaliados nos grupos I e II

Observaram-se variações significativas nos fluxos de O<sub>2</sub> e ar, ao se comparar os sistemas com aos sem reinalação, mas não entre os dois grupos avaliados (GI com GII) (Figura 2).

As configurações das curvas das figuras 3 e 4 são iguais no que diz respeito ao VC e inversas quanto à PaCO<sub>2</sub> e ao pH sanguíneo arterial, fato explicado pela correlação positiva entre o VC e o pH sanguíneo arterial e negativa entre a PaCO<sub>2</sub> e o VC (Figuras 5 e 6), ao avaliar os sistemas com reinalação (CF-TC e CF-PC) em GII.

Os segmentos avaliados obtiveram os seguintes valores de espaço morto: sonda traqueal (diâmetro interno 2,5 mm), 2,2 ml; sensor do monitor de mecânica respiratória somado ao sensor do analisador de gases respiratórios, volume de 8,6 ml. Espaço morto total, 10,8 ml.

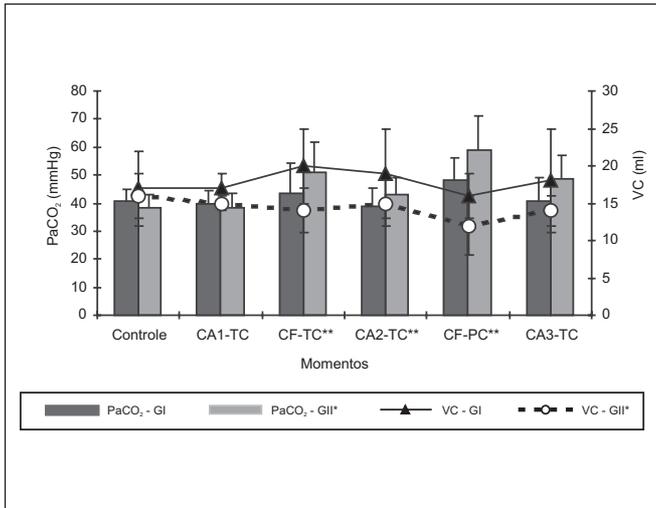


Figura 3 - Variação da PaCO<sub>2</sub> (mmHg) com o Volume Corrente (ml) (Média ± DP)  
 \* p < 0,05, sistema com reinalação difere do sem reinalação, em todos momentos avaliados da PaCO<sub>2</sub> no grupo II, e nos momentos Controle, CA1-TC e CF-PC do VC no grupo II  
 \*\* p < 0,05, GI difere de GII, em CF-PC na PaCO<sub>2</sub>, e nos momentos CF-TC, CA2-TC e CF-PC no VC

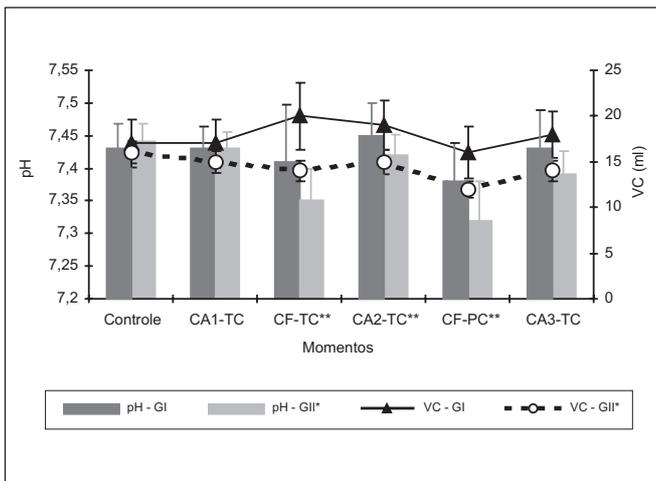


Figura 4 - Variação do pH Sangüíneo Arterial com o Volume Corrente (ml) (Média ± DP)  
 \* p < 0,05, sistema com reinalação difere do sem reinalação quanto ao VC em GII, nos momentos Controle, CA1-TC e CF-PC; sistema com reinalação difere do sem reinalação quanto ao pH em GII, em todos momentos avaliados  
 \*\* p < 0,05, GI difere de GII quanto ao VC, nos momentos CF-TC, CA2-TC e CF-PC

## DISCUSSÃO

Pouco se tem publicado sobre a ventilação mecânica no período per-operatório, em anestesia com pequenos volumes correntes, principalmente no que diz respeito aos diversos modos de ventilação existentes. Tal lacuna sinaliza que novos estudos devem ser realizados, o que facilitaria a inter-

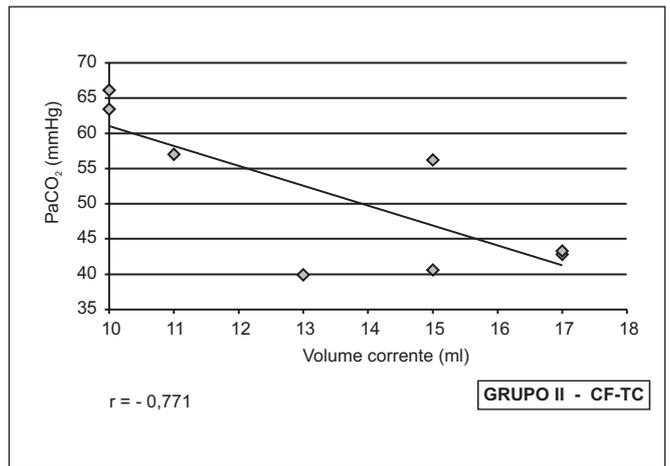


Figura 5 - Correlação Negativa (p < 0,05) entre a PaCO<sub>2</sub> (mmHg) e o Volume Corrente (ml), no Grupo sem Ajustes dos Parâmetros de Ventilação (GII), em Sistema com Reinalação e Ventilação no Modo Tempo Controlado - Pressão Limitada e Fluxo Constante de Gases (CF-TC)  
 r - coeficiente de correlação

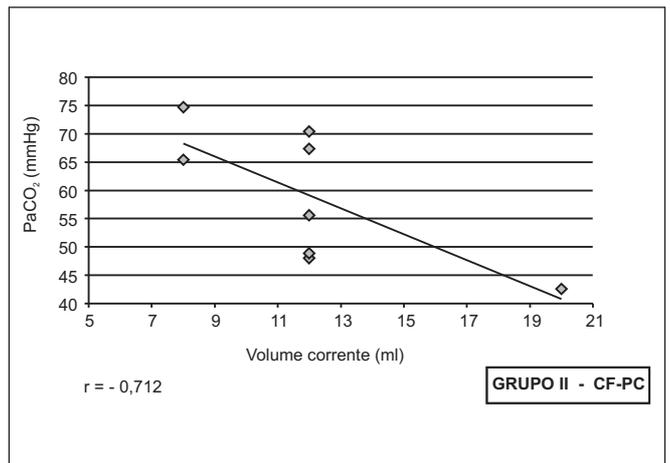


Figura 6. Correlação Negativa (p < 0,05) entre a PaCO<sub>2</sub> (mmHg) e o Volume Corrente (ml), no Grupo sem Ajustes dos Parâmetros de Ventilação (GII), em Sistema com Reinalação e Ventilação no Modo Pressão Controlada (CF-PC)  
 r - coeficiente de correlação

pretação de resultados dos estudos já realizados. Os dados mais antigos em pediatria<sup>16,17</sup> levavam a crer que pacientes pediátricos necessitavam de sistemas respiratórios e ventiladores especiais, porém estes conceitos vêm mudando desde a década de 60, com estudos confirmando que nem sempre há aumento no trabalho respiratório durante o emprego de sistemas valvulares e ventilação espontânea em pediatria<sup>18,19</sup>. Outros trabalhos em pediatria relataram o emprego de sistemas circulares em crianças acima de 20 kg<sup>20</sup>.

Alguns autores recomendaram cautela no emprego de sistemas com reinalação em animais ou seres humanos com peso inferior a 3 kg, relatando que os sistemas sem reinalação seriam mais adequados a esta categoria de pacientes<sup>21,22</sup>.

Um dos poucos trabalhos sobre ventilação em anestesia pediátrica comprovou a viabilidade do uso da ventilação a volume controlado, em sistemas complacentes e com grande volume de compressão<sup>23</sup>. Este estudo demonstrou que o volume corrente inicial a ser empregado, em pacientes em torno de 1 kg, seria entre 150 e 200 ml.kg<sup>-1</sup> e 25 ml.kg<sup>-1</sup> para os acima de 10 kg, havendo uma variação em escala curvilínea.

Com o surgimento dos anestésicos inalatórios mais recentes ou mesmo outros como o xenônio, que possuem propriedades farmacocinéticas e farmacodinâmicas distintas e por isso de custo mais elevado, torna-se relevante toda e qualquer economia que possa ser feita.

O volume de compressão parece ter maior importância durante a ventilação no modo volume controlado, que não foi avaliado neste estudo. Durante a ventilação no modo pressão controlada, este volume é compensado pelo próprio ventilador e no tempo controlado - pressão limitada e fluxo constante, é compensado pelo fluxo constante de gases ajustado no respirador.

A escolha dos coelhos neste modelo experimental baseou-se em outros trabalhos publicados sobre ventilação e mecânica respiratória nesta espécie<sup>24-26</sup>, bem como por apresentarem pequenos volumes pulmonares<sup>27</sup>. Entretanto, há dificuldades em anestésiar esta espécie pela estreita margem de segurança entre o plano anestésico e a depressão cardíaca<sup>28</sup>.

O limite estabelecido do fluxo de gases entre 500 e 1.000 ml.min<sup>-1</sup> refere-se ao destinado à anestesia com baixo fluxo em homem adulto<sup>29</sup>. Tal limite foi adotado, por ter-se empregado aparelho de anestesia com uso indistinto, para homem adulto e pediatria (Linea A-INTERMED Equip. Médico Hospitalar). No aparelho avaliado há dois fluxômetros para oxigênio e para ar comprimido, sendo um com escala entre 100 e 1.000 ml.min<sup>-1</sup> e o outro entre 1 e 10 L.min<sup>-1</sup>. Para que se obtivesse a fração inspirada entre 0,4 e 0,6, seguiu-se normograma entre a mistura de O<sub>2</sub> e ar, acompanhando-se os valores alcançados no analisador de gases respiratórios; porém isto levou à limitação no emprego de fluxos menores que 500 ml.min<sup>-1</sup>, que seria possível somente se a FiO<sub>2</sub> fosse mais elevada ou se o equipamento em questão tivesse outro fluxômetro com escala entre 0 e 100 ml.min<sup>-1</sup>.

Observou-se neste estudo a viabilidade do emprego de sistemas com reinalação, durante a ventilação mecânica, em fluxos entre 500 e 1.000 ml.min<sup>-1</sup>, sendo que a ventilação foi mais efetiva no grupo em que se permitiam ajustes (GI) nos parâmetros de ventilação, possivelmente pelo maior volume corrente resultante quando comparado ao outro grupo (GII), ainda que em ambos este valor ficasse entre 6 e 8 ml.kg<sup>-1</sup>.

Num primeiro momento esta técnica pode ser vista como dispendiosa, pois requer ampla monitorização, porém com a redução no uso dos agentes anestésicos e outros gases que ela proporciona, gera-se uma economia que justifica a com-

pra destes monitores. Esta monitorização deve incidir principalmente sobre a fração inspirada e exalada de oxigênio (FiO<sub>2</sub> e FeO<sub>2</sub>), dióxido de carbono exalado e reinalado (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> e CO<sub>2ins</sub>), concentração inspirada dos agentes anestésicos, análise dos gases sanguíneos, pH sanguíneo arterial e volume corrente, além dos parâmetros comuns a quaisquer cirurgias (cardioscopia, pressão arterial, oximetria de pulso, temperatura). As explicações que seguem definem a importância dos parâmetros descritos acima.

Os valores encontrados do hematócrito, bem como da hemoglobina calculada, ficaram abaixo dos parâmetros de normalidade, pois a medicação pré-anestésica administrada, a acepromazina, promove esta redução pelo seqüestro dos eritrócitos pelo baço<sup>30</sup>. Porém, esta redução não comprometeu o transporte adequado de oxigênio, caracterizado por saturação (SaO<sub>2</sub>) e PaO<sub>2</sub> adequados. Talvez isto possa ser interpretado pela ventilação e oxigenação serem entidades distintas, ainda que intimamente relacionadas, em que a ventilação deficiente pode causar inadequada oxigenação dos tecidos, assim como ventilação adequada não assegura oxigenação suficiente aos tecidos<sup>31</sup>. Obteve-se no presente trabalho adequados valores de PaO<sub>2</sub>, mesmo quando se obtiveram elevados valores de PaCO<sub>2</sub>, tornando a monitorização destes parâmetros importante, para que a segurança dos pacientes não fosse comprometida.

Há maior extração de oxigênio durante o emprego de fluxos mais baixos de gases, pela maior reutilização do volume dos gases exalados, podendo resultar em misturas hipóxicas<sup>5</sup>, se não devidamente monitorizadas as FiO<sub>2</sub> e FeO<sub>2</sub>, além da PaO<sub>2</sub> e SaO<sub>2</sub>. Tal fato foi observado no grupo em que os ajustes não eram permitidos (GII), com significância estatística entre os diferentes momentos avaliados da FeO<sub>2</sub>, possivelmente pela grande diferença entre os valores de fluxo utilizados nos momentos que avaliaram sistemas com reinalação (CF-TC; CF-PC) e os valores dos sistemas sem reinalação (Controle; CA1-TC; CA2-TC; CA3-TC).

A correlação negativa entre a PaCO<sub>2</sub> e o VC, e positiva entre o pH sanguíneo arterial e o VC, foi observada no grupo em que os ajustes dos parâmetros de ventilação não eram permitidos (GII) e ao avaliar os sistemas com reinalação (CF-TC e CF-PC). Com isso, denota-se a inter-relação entre ventilação efetiva e volume corrente resultante ao paciente, ratificando a necessidade de monitorizar estes parâmetros.

Areinalação de CO<sub>2</sub>, presente ao avaliar os sistemas com reinalação, ainda que indesejada, pode ser admitida em valores baixos em que não comprometa a ventilação. Talvez esta reinalação de CO<sub>2</sub> possa ser explicada neste estudo pela inserção de sensores dos monitores à sonda traqueal, levando ao aumento do espaço morto, que em animais com volumes pulmonares já bastante pequenos torna-se relevante. Em pediatria, há a possibilidade do emprego de sondas de intubação nas quais há uma saída para colheita de amostras de gases, dispensando o conector do monitor de gases sanguíneos<sup>20</sup>.

Observou-se que durante o emprego do sistema com reinalação e fluxo inferior a 1 L.min<sup>-1</sup>, a concentração do agente anestésico ajustado no vaporizador era mais elevada do que

a realmente inalada, necessitando de ajustes no vaporizador. Estes ajustes podem ser explicados pela maior inércia que ocorre no sistema respiratório do aparelho de anestesia, durante o baixo fluxo, por haver relação inversa entre fluxo e concentração, ou seja, quanto maior o fluxo menor a concentração ajustada no vaporizador para se oferecer uma mesma concentração deste agente anestésico<sup>5,32</sup>. A monitorização deste parâmetro deve ser efetuada para que concentrações muito baixas ou excessivas não possam ser ofertadas inadvertidamente aos pacientes.

A hipotermia inadvertida, durante a anestesia, deve ser evitada sempre que possível por seus efeitos deletérios<sup>33,34</sup>, podendo também ser minimizada pelo emprego de fluxos menores em sistemas com reinalação, que reduzem as perdas de temperatura pela liberação de calor na reação entre a cal sodada e o CO<sub>2</sub><sup>35</sup>. A temperatura corpórea dos animais foi mantida dentro dos parâmetros fisiológicos da espécie, possivelmente pelo emprego do colchão térmico, bem como pela redução do fluxo na avaliação dos sistemas com reinalação.

Há uma relação no estabelecimento do volume corrente entre variáveis controladas no ventilador (gradiente de pressão e tempo inspiratório) e a mecânica pulmonar dos pacientes (constante de tempo). A constante de tempo varia com a resistência e complacência das vias aéreas a serem ventiladas; o gradiente de pressão varia com a pressão de pico inspiratório (PIP) e a pressão positiva ao final da expiração (PEEP) ajustados; e o tempo inspiratório, que é função da relação inspiração - expiração (I:E) e da frequência respiratória também ajustados no ventilador<sup>12</sup>. Por isso, independentemente do modo de ventilação empregado, todas estas variáveis devem ser consideradas no ajuste do ventilador, além das particularidades anatômicas e fisiológicas de cada espécie.

Crossfill e Widdicombe<sup>27</sup>, em 1961, estudaram os volumes pulmonares de diversas espécies, sendo que a constante de tempo descrita em coelhos foi de 0,15 segundos (variação entre 0,087 - 0,193 s.). Com isso, no presente trabalho, fixou-se o tempo inspiratório entre três e cinco vezes a constante de tempo (Tins > 0,45s), para que o volume corrente liberado ao animal ficasse entre 95% e 99%, como é proposto

em humanos<sup>12,36</sup>. A relação inspiração - expiração de 1:3 foi adotada na tentativa de evitar o auto-PEEP ou PEEP intrínseco, que pode ser ocasionado por tempo expiratório curto em volume corrente normal ou elevado, por frequência respiratória muito elevada; mas de modo geral a não homogeneidade da constante de tempo é seu maior fator etiológico<sup>37</sup>. Nos modos de ventilação avaliados não se estabelece previamente o volume corrente, mas este é resultado da interação dos parâmetros ajustados no ventilador com a complacência e resistência da via aérea. Não houve grandes dificuldades na obtenção do volume corrente pela monitorização estrita deste parâmetro, porém esta existiu na tentativa de manter normocapnia e pH sanguíneo arterial dentro da faixa fisiológica. Observou-se que durante a ventilação com pressão controlada, os valores resultantes do volume corrente foram menores quando comparados ao outro modo avaliado, porém variações significativas ( $p < 0,05$ ) ocorreram nos dois modos ao comparar o grupo com ajuste (GI) ao sem ajuste (GII). Portanto, ao comparar estes dois modos de ventilação, esta pode ser efetiva desde que ajustes sejam feitos no ventilador (frequência respiratória, tempo inspiratório e pico de pressão inspiratório), buscando o volume corrente adequado dentro da faixa estabelecida (6 - 8 ml.kg<sup>-1</sup>). A ventilação no modo pressão controlada deve ser melhor investigada quanto ao seu emprego durante a anestesia com fluxo de gases menores, bem como seus benefícios a longo prazo.

A importância de toda e qualquer redução de fluxo de gases dos valores utilizados habitualmente, mesmo que não se chegue a valores basais de consumo de O<sub>2</sub>, é dada pela economia com agentes anestésicos, pela necessidade de maior monitorização, pela conservação de calor e umidade dos gases inalados e pela redução na poluição do meio ambiente<sup>1,4,5</sup>.

Outros estudos devem ser realizados para avaliar os reais benefícios dos diversos modos de ventilação em pequenos animais, que possam vir a ser transferidos aos recém-nascidos ou às crianças com baixo peso, bem como tentar a padronização dos parâmetros de ventilação e fluxo de gases. Nossa visão é que parte desta tecnologia e conceito já está incorporada nos aparelhos mais modernos de anestesia.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho é constituído por resultados parciais da dissertação de mestrado de Eliana Bonetti, apresentada à Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo em Setembro de 2000. Agradecimento à FAPESP pela concessão da bolsa de mestrado, conforme processo 98/13765-3.

## **Evaluation of Low Flow Anesthesia, Comparing Pressure-Controlled Ventilation to Time-Cycled Pressure-Limited Continuous Flow Ventilation. Experimental Model in Rabbits**

Eliana Bonetti, M.D., Denise Tabacchi Fantoni, M.D., José Otávio Costa Auler Júnior, TSA, M.D.

### **INTRODUCTION**

Ventilation during anesthesia should take into consideration each patient's anatomic, physiological and pathological characteristics and it is the anesthesiologist's role to seek for new concepts in order to increase safety, decrease costs and improve efficacy without impairing oxygenation and ventilation. So, the anesthetic technique using a low fresh gas flow preserves airways moisture and temperature<sup>1,2</sup>, and decreases environmental pollution and inhalational anesthetics consumption<sup>3,4</sup>, although it requires extensive monitoring<sup>5</sup> due to potential hypoxemia and hypercapnia.

Another important factor is the use of a lower tidal volume in the presence of low pulmonary compliance<sup>6-8</sup>, called protective strategy<sup>9-11</sup>. This tidal volume restriction leads to transpulmonary pressure decrease, thus to a lower risk for barotraumas, but to an increase in carbon dioxide<sup>12</sup>. Although there is an indication for tidal volume restriction, perioperative ventilation with values lower than usual might be considered, even without previous pulmonary lesion. This lower tidal volume would avoid pulmonary parenchyma lesions which could be caused by current ventilation techniques<sup>13,14</sup>.

The difficulty in ventilating low weight animals or even neonates could be explained by the very low pulmonary volume and high respiratory rate, and the necessity of maintaining gas exchange efficiency between alveoli and the atmosphere, without inducing ventilator-induced injuries. Although modern anesthesia machines and their ventilators are more effective in offering low tidal volumes and have ventilation resources, such as PEEP and pressure-controlled ventilation, these have not yet been extensively evaluated in anesthesia. Pressure-controlled ventilation, already widely used in intensive care units, seems to decrease the risk for ventilator-induced injury for allowing a more accurate control of maximum pressure levels in airways and for a more homogeneous distribution of gases in the alveoli<sup>9,12,15</sup>. This modality of ventilation requires close monitoring of the tidal volume, because it changes due to alterations in airways compliance and resistance<sup>9,12</sup>.

Time-controlled limited pressure ventilation mode, on the other hand, is used in neonates because it allows constant fresh gas flow leading to a lower risk of carbon dioxide rebreathing and also for limiting airway pressure, thus decreasing the risk of barotrauma.

The importance of the increased dead space caused by monitor sensors should not be overlooked in patients with low pulmonary volume.

This study aimed at evaluating anesthesia with fresh gas flows between 500 and 1000 ml.min<sup>-1</sup> and tidal volumes between 6 and 8 ml.kg<sup>-1</sup> with an anesthesia machine developed to be used both in adult and pediatric patients, and comparing pressure-controlled ventilation (PCV) to time-controlled-limited pressure - constant gas flow ventilation

### **METHODS**

Sixteen female New Zealand rabbits weighing 2 to 3 kg were randomly distributed in two groups: group I (GI) and group II (GII). Animals were premedicated with muscular acepromazine (1 mg.kg<sup>-1</sup>) followed by induction with intravenous propofol (10 mg.kg<sup>-1</sup>) and maintenance with halothane and O<sub>2</sub> inspired fraction between 0.40 and 0.60. Tracheostomy was performed with a cuffless catheter (2.5 to 3 mm internal diameter) which was fixed to the trachea with surgical suture to prevent gas leakage. Auricular artery and lateral auricular vein were catheterized to monitor blood pressure, for blood collection and fluid replacement (lactated Ringer's, 5 - 10 ml.kg<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>). Intravenous pancuronium (0.1 mg.kg<sup>-1</sup>) was administered and mechanically-controlled ventilation was started with a Linea A (INTERMED Equip. Med. Hosp. - São Paulo - Brazil) anesthesia machine.

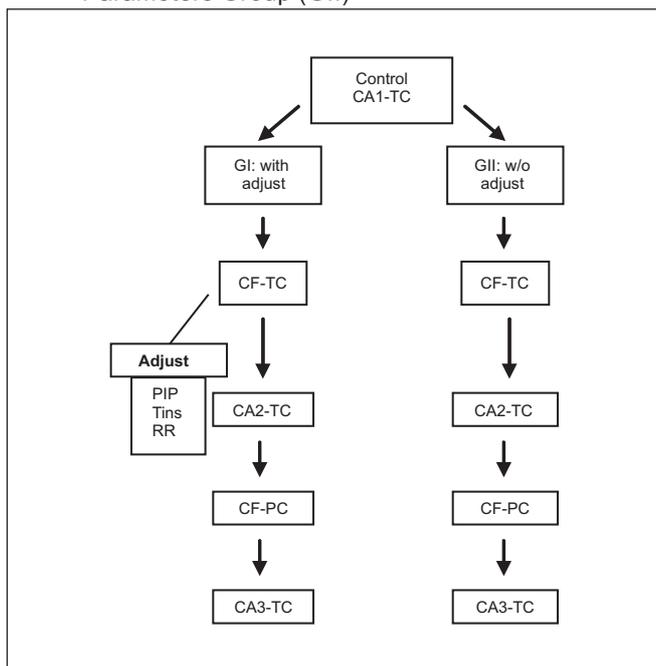
In GI the ventilatory parameters (inspiratory time, respiratory rate, peak inspiratory pressure) were adjusted at the beginning of all moments evaluated to allow adequate ventilation, however maintaining tidal volume between 6 and 8 mg.kg<sup>-1</sup>. In GII, ventilatory parameters were adjusted at the control moment and remained constant throughout the experiment. Animals heart rate and rhythm, rectal temperature and invasive blood pressure were continuously monitored with a multiparameter monitor (Hewlett Packard - Sist. Monit. Mod. M - 1165A/66A). Peak inspiratory pressure (PIP), positive end expiratory pressure (PEEP), tidal volume (TV), minute volume (Vmin), inspiratory time (Tins), mean airway pressure (MAP) and dynamic compliance (DC), were monitored with a respiratory mechanics monitor (VENT CHECK - Novamatrix Med. Sys Inc - Connecticut - USA). Exhaled carbon dioxide (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>), rebreathed carbon dioxide (CO<sub>2</sub>ins), oxygen inspired and expired fraction (FiO<sub>2</sub>, FeO<sub>2</sub>) and exhaled halothane concentration (% Hal<sub>exh</sub>), were monitored by a respiratory gases analyzer (POET IQ - Criticare System - mod. 602-6B - Waukesha - USA). Blood gases analysis (PaCO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub>), arterial pH, plasma bicarbonate, hematocrit and hemoglobin were monitored by a Portable Clinical Analyzer (i-STAT Corp., New Jersey - USA). Dead space caused by respiratory mechanics monitor sensors, gases analyzer and tracheal tube was also evaluated in milliliters.

Initially animals were maintained in a non rebreathing system adjusting the ventilator to a tidal volume of 6 to 8 ml.kg<sup>-1</sup>, partial arterial carbon dioxide pressure (PaCO<sub>2</sub>) between 35 and 45 mmHg and arterial pH between 7.35 and 7.45. Following, animals were allocated to their groups - GI or GII - and time count was started. Gas flow used in non-rebreathing system was above 4 L.min<sup>-1</sup> and in rebreathing systems it was of 500 to 1000 ml.min<sup>-1</sup>.

Animals remained for 20 minutes in each experimental moment. At the end of each moment the above described parameters were recorded.

The following moments were evaluated : control moment (M0) to evaluate non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation mode; M1 = CA1-TC (after 20 minutes of ventilation in the non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation mode); M2 = CF-TC (after 20 minutes of ventilation in a rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation mode); M3 = CA2-TC (after additional 20 minutes in the non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation mode); M4 = CF-PC (after 20 minutes of ventilation in the rebreathing system and pressure-controlled ventilation mode); M5 = CA3-TC (after additional 20 minutes of ventilation in the non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation mode) (Chart I).

Chart I - Moments Observed in Ventilation Parameters Adjusted Group (G1) and in Non-Adjusted Ventilation Parameters Group (GII)



CONTROL: Non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation; CA1-TC: non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation; CF-TC: rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation; CA2-TC: non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation; CF-PC: rebreathing system and pressure-controlled ventilation; CA3-TC: non-rebreathing system and time-controlled limited-pressure constant gas flow ventilation; G1: group with adjustments in ventilation parameters; GII: group without adjustment in ventilation parameters; PIP: peak inspiratory pressure (cmH<sub>2</sub>O); Tins: inspiratory time (s); RR: respiratory rate (vpm)

Data were analyzed by ANOVA for repeated measures, followed by Tuckey's test. Student's *t* test was used to analyze differences between groups and significance level was set at 5% ( $p < 0.05$ ). Values are shown as the mean  $\pm$  standard deviation. Pearson's correlation was tested with some interesting variables and significance level was set at 5% ( $p < 0.05$ ).

## RESULTS

Animals mean weight was of  $2.54 \pm 0.37$  kg in G1 and  $2.25 \pm 0.21$  kg in GII.

In both ventilation modes evaluated - pressure-controlled (PC) and time-controlled limited-pressure constant gas flow (TC) - a satisfactory maintenance of arterial pH and partial arterial carbon dioxide pressure (PaCO<sub>2</sub>) (Table I), with gas flows between 500 and 1000 ml.min<sup>-1</sup> was observed.

In the group where adjustment of ventilatory parameters were allowed (G1), resulting tidal volume (TV) was higher than in the group no adjusted (GII), with significant differences when comparing both groups (G1 x GII) in the rebreathing system (CF) and in the two ventilation modes evaluated (TC and PC), although both groups remained within the established range of 6 to 8 ml.kg<sup>-1</sup> (Table I).

Partial arterial oxygen pressure (PaO<sub>2</sub>) had a similar behavior to PaCO<sub>2</sub>, with significant differences between G1 and GII (Table I) in the rebreathing system during pressure-controlled ventilation (CF-PC).

Still in terms of oxygenation, a statistical significant difference was observed in GII in the oxygen expired concentration (F<sub>E</sub>O<sub>2</sub>) when comparing non-rebreathing and rebreathing systems (Table I). Regardless of the group, carbon dioxide rebreathing (CO<sub>2ins</sub>) was observed with the rebreathing system (Table I). Arterial carbon dioxide pressure (PaCO<sub>2</sub>) values were higher in the rebreathing systems (CF-TC and CF-PC) as compared to non-rebreathing systems (Control; CA1-TC; CA2-TC and CA3-TC), with significant differences in moments studied in GII, as opposed to G1. A significant difference in PaCO<sub>2</sub> in groups G1 and GII at moment CF-PC (Figure 1 and Table I) was observed.

Significant variations in O<sub>2</sub> and air flows were observed when comparing rebreathing to non rebreathing systems, but not between groups G1 and GII (Figure 2).

In the rebreathing systems (CF-TC and CF-PC), the tidal volume variation was similar as shown in figures 3 and 4 and opposed for PaCO<sub>2</sub> and arterial pH, which is explained by the positive correlation between TV and arterial pH and the negative correlation between PaCO<sub>2</sub> and TV (Figures 5 and 6) in GII.

Dead space values recorded were the following: tracheal tube (2.5 mm internal diameter), 2.2 ml; respiratory mechanics monitor added to respiratory gas analyzer sensor, 8.6 ml. Total dead space: 10.8 ml.

Table I - Ventilation and Oxygenation Parameters (Mean ± SD)

Parameter	Groups	Moments Observed					
		Control (M0)	CA1-TC (M1)	CF-TC (M2)	CA2-TC (M3)	CF-PC (M4)	CA3-TC (M5)
CO <sub>2INS</sub> (mmHg)	GI	0*	0*	3.1 ± 2.5*	0*	4.6 ± 2.0*	0*
	GII	0*	0*	4.3 ± 1.8*	0*	5.9 ± 2.4*	0*
pH	GI	7.43 ± 0.04	7.43 ± 0.03	7.41 ± 0.09	7.45 ± 0.05	7.38 ± 0.06	7.43 ± 0.06
	GII	7.44 ± 0.03*	7.43 ± 0.03*	7.35 ± 0.05*	7.42 ± 0.03*	7.32 ± 0.06*	7.39 ± 0.04*
PaCO <sub>2</sub> (mmHg)	GI	40.80 ± 3.90	39.90 ± 4.50	43.60 ± 10.90	38.70 ± 6.60	48.00 ± 8.00**	40.90 ± 8.40
	GII	38.50 ± 4.60*	38.30 ± 5.30*	51.20 ± 10.70*	43.00 ± 6.20*	59.10 ± 11.90***	48.70 ± 8.20*
PO <sub>2</sub> (mmHg)	GI	173 ± 28	177 ± 25	186 ± 16	187 ± 17	183 ± 16**	176 ± 13
	GII	185 ± 18*	182 ± 14*	178 ± 13	178 ± 14	165 ± 15***	173 ± 18
FiO <sub>2</sub> (%)	GI	43.71 ± 4.61	43.71 ± 4.61	44.29 ± 5.00	43.86 ± 4.26	43.29 ± 4.89	43.00 ± 4.90
	GII	41.62 ± 1.41	41.62 ± 1.41	41.50 ± 1.70	41.50 ± 1.41	41.50 ± 2.30	40.90 ± 1.46
FeO <sub>2</sub> (%)	GI	38.86 ± 4.14	38.71 ± 4.15	38.71 ± 4.90	39.30 ± 4.20	37.43 ± 4.80	38.43 ± 4.31
	GII	36.25 ± 1.40*	36.40 ± 1.41*	34.62 ± 1.51*	36.12 ± 1.46*	34.25 ± 2.05*	35.12 ± 1.64*
TV (ml)	GI	17 ± 5	17 ± 2	20 ± 5**	19 ± 6	16 ± 3**	18 ± 7
	GII	16 ± 3*	15 ± 1*	14 ± 3**	15 ± 3	12 ± 4***	14 ± 2

\* p < 0.05, rebreathing system different from non-rebreathing system  
 \*\* p < 0.05. GI different from GII

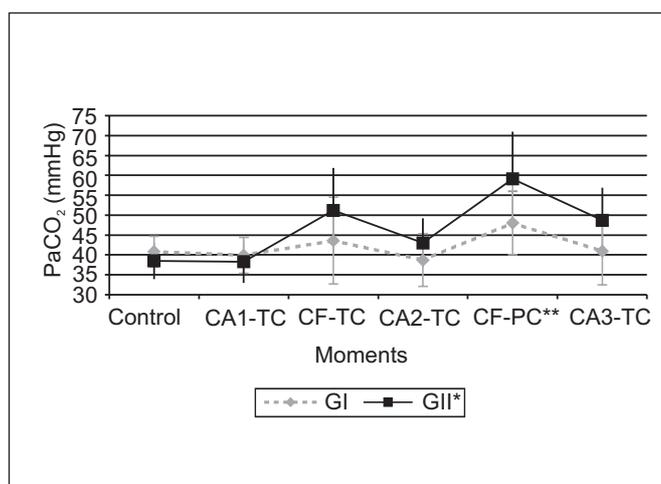


Figure 1 - PaCO<sub>2</sub> Variation (mmHg) (Mean ± SD)  
 \* p < 0.05, rebreathing system different from non-rebreathing system in all moments evaluated for GII  
 \*\* p < 0.05, GI different from GII, in CF-PC

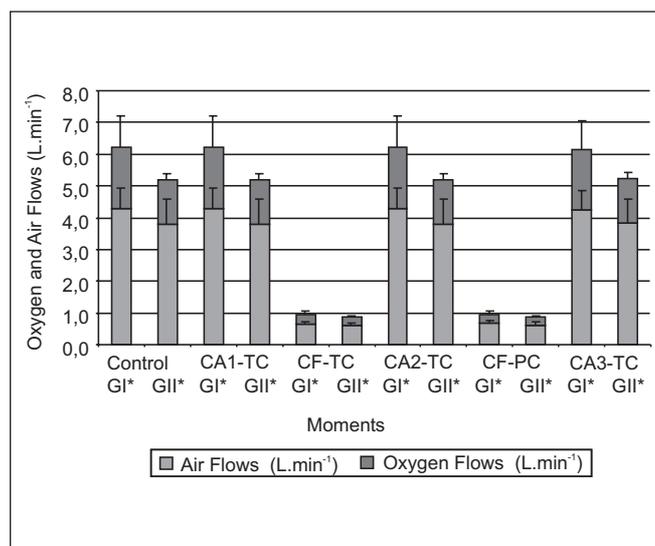


Figure 2 - Oxygen and Air Flows (L.min<sup>-1</sup>) (Mean ± SD)  
 \* p < 0.05, rebreathing system different from non-rebreathing system in all moments evaluated for Groups I and II

**DISCUSSION**

The bibliography on perioperative mechanical ventilation with low tidal volumes in anesthesia, especially on the different ventilation modes available is scarce. This gap is a sign that new studies should be performed to help interpretation of previous results. Older pediatric data<sup>16,17</sup> suggest that pediatric patients would need special respiratory systems and ventilators. These concepts, however, are changing since the 60's when studies confirming that respiratory work does not always increase during the use of valve systems and

spontaneous ventilation in pediatrics<sup>18,19</sup> started appearing. Other studies in pediatric patients have reported the use of circle systems in children above 20 kg<sup>20</sup>. Some authors recommended care when using rebreathing systems in animals or humans weighing less than 3 kg, reporting that non-rebreathing systems would be more adequate for these patients<sup>21,22</sup>.

EVALUATION OF LOW FLOW ANESTHESIA, COMPARING PRESSURE-CONTROLLED VENTILATION TO TIME-CYCLED PRESSURE-LIMITED CONTINUOUS FLOW VENTILATION. EXPERIMENTAL MODEL IN RABBITS

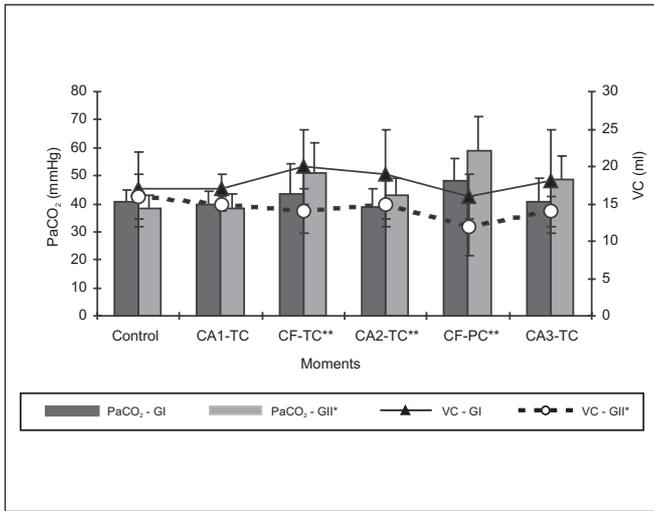


Figure 3 - PaCO<sub>2</sub> (mmHg) Variation with Tidal Volume (ml) (Mean ± SD)  
 \* p < 0.05, rebreathing system different from non-rebreathing system in all PaCO<sub>2</sub> moments evaluated in group II, e in moments Control, CA1-TC and CF-PC of VC in group II  
 \*\* p < 0.05, GI different from GII, in CF-PC in PaCO<sub>2</sub>, and in moments CF-TC, CA2-TC and CF-PC in VC

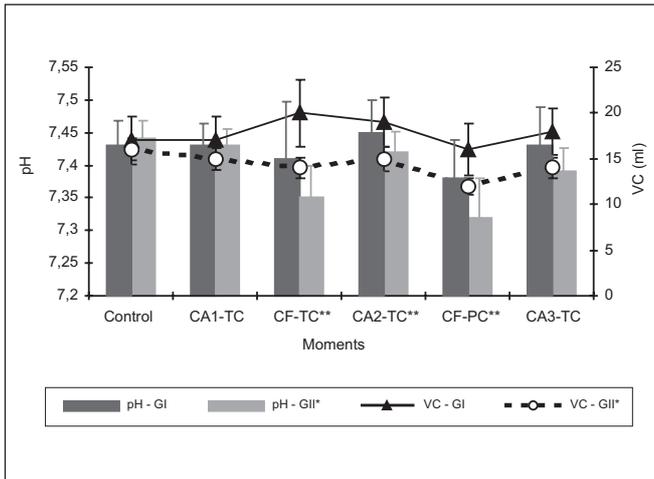


Figure 4 - Arterial pH Variation with Tidal Volume (ml) (Mean ± SD)  
 \* p < 0.05, rebreathing system different from non-rebreathing system in VC in GII in moments Control, CA1-TC and CF-PC; rebreathing system different from non-rebreathing system in pH in GII, in all moments evaluated  
 \*\* p < 0.05, GI different from GII in VC, in moments CF-TC, CA2-TC and CF-PC

One of the few studies on pediatric anesthesia ventilation has proven the feasibility of volume-controlled ventilation in compliant systems with large compression volumes<sup>23</sup>. This study has shown that the initial tidal volume to be used in patients with approximately 1 kg would be 150 to 200 ml.kg<sup>-1</sup>, and 25 ml.kg<sup>-1</sup> for patients above 10 kg with a curvilinear scale variation.

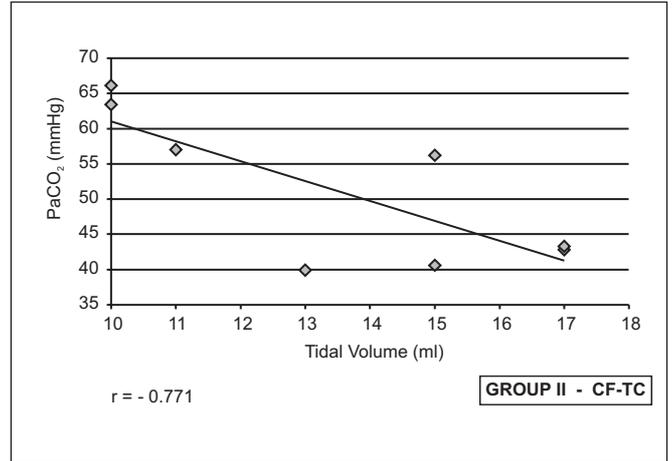


Figure 5 - Negative Correlation (p < 0.05) between PaCO<sub>2</sub> (mmHg) and Tidal Volume (ml), in the Group without Ventilatory Parameters Adjustment (GII), in Rebreathing System and Time-Controlled Limited Pressure and Constant Gas Flow Ventilation (CF-TC)  
 r - correlation coefficient

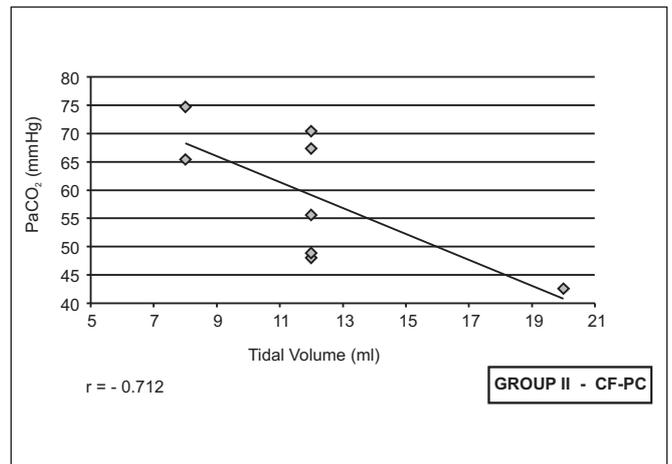


Figure 6. Negative correlation (p < 0.05) between PaCO<sub>2</sub> (mmHg) and Tidal Volume (ml), in the Group without Ventilatory Parameters Adjustment (GII), in Rebreathing System with Pressure-Controlled Ventilation (CF-PC)  
 r - correlation coefficient

With the introduction of more recent inhalational anesthetics and of xenonium, with unique pharmacokinetic and pharmacodynamic properties, but more expensive, any savings that could be obtained would be relevant. Compression volume seems to be more important during volume-controlled ventilation, but this was not evaluated in our study. During pressure-controlled ventilation, this volume is compensated by the ventilator itself, and in time-controlled limited-pressure and constant flow it is compensated by the constant gas flow adjusted in the ventilator.

The choice for rabbits as the experimental model was based on other studies published about ventilation and respiratory mechanics in this species<sup>24-26</sup>, and also because they have low pulmonary volumes<sup>27</sup>. There are, however, difficulties in anesthetizing this species due to the short safety margin between anesthetic depth and heart depression<sup>28</sup>.

The 500 to 1000 ml.min<sup>-1</sup> of gas flow is the limit for low flow anesthesia in adults<sup>29</sup>. Such limit was adopted because of the use of an anesthesia machine which can be indistinctly used for adult and pediatric patients (Linea A - INTERMED Equip. Medico Hospitalar). This machine has two flowmeters for oxygen and compressed air, being one graded 100 to 1000 ml.min<sup>-1</sup> and the other 1 to 10 L.min<sup>-1</sup>. To obtain an inspired fraction between 0.4 and 0.6, a normogram was followed for the mixture of O<sub>2</sub> and air, and the value checked by the respiratory gases analyzer. This however has limited the use of flows below 500 ml.min<sup>-1</sup>, which would only be possible with a higher FiO<sub>2</sub> or if the equipment had another flowmeter graded 0 to 100 ml.min<sup>-1</sup>.

Our study has shown the feasibility of using rebreathing systems during mechanical ventilation with flows between 500 and 1000 ml.min<sup>-1</sup>. Ventilation was more effective in the group where adjustments in ventilation parameters were allowed (GI), probably due to higher tidal volumes as compared to the other group (GII) although in both groups TV values were between 6 and 8 ml.kg<sup>-1</sup>.

Initially, this technique could be considered expensive for requiring extensive monitoring, but with a reduction in the consumption of anesthetic agents and other gases provided by the technique, there are savings justifying the purchase of such monitors. Monitoring should primarily target oxygen inspired and expired fraction (FiO<sub>2</sub> and FeO<sub>2</sub>), expired and rebreathed carbon dioxide (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> and CO<sub>2ins</sub>), anesthetic agents inspired concentration, blood gases analysis, arterial pH and tidal volume, in addition to standard surgical parameters (cardioscopy, blood pressure, pulse oximetry, temperature). The explanations below define the importance of the above-described parameters. Hematocrit and calculated hemoglobin values were below normal because preanesthetic medication - acepromazine - promoted this decrease by scavenging erythrocytes through the spleen<sup>30</sup>. This decrease, however, did not impair adequate oxygen transportation, characterized by adequate saturation (SaO<sub>2</sub>) and PaO<sub>2</sub>. This might be interpreted as ventilation and oxygenation being different entities, although closely related, where deficient ventilation may lead to poor tissue oxygenation, but adequate ventilation will not assure enough tissue oxygenation<sup>31</sup>. Our study has obtained adequate PaO<sub>2</sub> levels even in the presence of high PaCO<sub>2</sub> values, thus making their monitoring important to preserve patients' safety.

There is a higher oxygen extraction with lower gas flow due to higher reuse of expired gases volume, which may result in hypoxic mixtures<sup>5</sup> if FiO<sub>2</sub>, FeO<sub>2</sub>, PaO<sub>2</sub> and SaO<sub>2</sub> are not duly monitored. This was observed in the group where adjustments were not allowed (GII) with statistical significance among different FeO<sub>2</sub> moments evaluated, probably due to the major

difference between flows used in the moments evaluating rebreathing systems (CF-TC and CF-PC) and those used for non rebreathing systems (Control; CA1-TC; CA2-TC; CA3-TC).

Negative correlation between PaCO<sub>2</sub> and TV and positive correlation between arterial pH and TV correlation were observed in the group where ventilation parameters adjustments were not allowed (GII) and when evaluating rebreathing systems (CF-TC and CF-PC). This shows the relationship between effective ventilation and tidal volume and ratifies the need for monitoring such parameters.

CO<sub>2</sub> rebreathing observed when evaluating rebreathing systems, although undesirable, may be admitted at low values not impairing ventilation. CO<sub>2</sub> rebreathing might be explained by the insertion of sensors in the tracheal tube leading to an increased dead space which, in small animals with very low pulmonary volumes, becomes relevant. In pediatrics, there is the possibility of using tubes with an outlet to collect gas samples thus eliminating the need for blood gases analyzer<sup>20</sup>.

It was seen with the rebreathing system and flow below 1 L.min<sup>-1</sup> that the anesthetic agent concentration adjusted in the vaporizer was higher than that actually inhaled and required vaporizer adjustments. These adjustments may be explained by the higher inertia within the anesthesia machine during low flow because there is a reverse relationship between flow and concentration, that is, the higher the flow the lower the concentration adjusted in the vaporizer to offer the same concentration of the anesthetic agent<sup>5,32</sup>. This parameter should be monitored to prevent very low or very high concentrations to be inadvertently offered to patients.

Inadvertent hypothermia during anesthesia should be avoided whenever possible for its noxious effects<sup>33,34</sup>, and may also be minimized by lower flows in rebreathing systems, which minimize temperature losses by releasing heat through the reaction of lime soda and CO<sub>2</sub><sup>35</sup>. Animals' body temperature was maintained within physiological parameters of the species with thermal mattresses and decreasing flow when evaluating rebreathing systems.

In establishing tidal volume, there is a relationship between variables controlled in the ventilator (pressure gradient and inspiratory time) and patients' pulmonary mechanics (time constant). Time constant varies with resistance and compliance of airways to be ventilated; pressure gradient varies with adjusted peak inspiratory pressure (PIP) and positive end expiratory pressure (PEEP); and inspiratory time is a function of inspiration-expiration ratio (I:E) and of the respiratory rate also adjusted in the ventilator<sup>12</sup>. So, regardless of the ventilation mode, all those variables should be considered in adjusting the ventilator, in addition to anatomic and physiological uniquenesses of each species.

Crossfill and Widdicombe<sup>27</sup>, in 1961, have studied pulmonary volumes of different species and the time constant described for rabbits was 0.15 seconds (variation between 0.087 - 0.193 s.). Based on this, we established inspiratory time in 3 to 5 times the time constant (Tins > 0.45 s.) for the tidal volume to remain within 95% and 99%, as it is proposed

for humans<sup>12,36</sup>. Inspiration-expiration ratio of 1:3 was adopted in an attempt to avoid auto-PEEP or intrinsic PEEP, which may be caused by a short expiratory time in normal or high tidal volumes, and by very high respiratory rate; but in general, differences in time constant are their major etiologic factor<sup>37</sup>. In the ventilation modes evaluated in our study, tidal volume is not preset but rather it is the result of the interaction of parameters adjusted in the ventilator and airway compliance and resistance. There were no major difficulties in obtaining tidal volume by closely monitoring this parameter, but there have been difficulties in the attempt to maintain normocapnia and arterial pH within the physiological range. It was observed that during pressure-controlled ventilation, tidal volumes were lower as compared to the other mode; however there have been significant variations ( $p < 0.05$ ) in both modes when comparing adjusted (GI) and non-adjusted (GII) groups. So, comparing both ventilation modes, this could be effective, provided adjustments are made in the ventilator (respiratory rate, inspiratory time and peak inspiratory pressure), to reach an adequate tidal volume within the established range (6 - 8 mg.kg<sup>-1</sup>). Pressure-controlled ventilation should be further investigated as to its use in anesthesia with low gas flows, as well as to its long-term benefits.

The importance of gas flow reduction, even not reaching O<sub>2</sub> baseline consumption values, is given by the savings with anesthetic agents, by the need for further monitoring, by the maintenance of inhaled gases heat and moisture and by less environmental pollution<sup>1,4,5</sup>.

Other studies should be carried out to evaluate the real benefits of different ventilation modes in small animals which could be transferred to neonates or low weight children, as well as to try to standardize ventilation and gas flow parameters. We believe that part of this technology and concept is already built in most modern anesthesia machines.

#### ACKNOWLEDGEMENTS

This paper is made up of partial results of Eliana Bonetti's Master Degree Thesis, presented to the Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, in September 2000. We acknowledge FAPESP for granting the Master Degree scholarship according to process 98/13765-3.

#### REFERÊNCIAS - REFERENCES

01. Frölich D, Schwall B, Funk W et al - Laryngeal mask airway and uncuffed tracheal tubes are equally effective for low flow or closed system anaesthesia in children. *Br J Anaesth*, 1997;79:289-292.
02. Henriksson BA, Sundling J, Hellman A - The effect of a heat and moisture exchanger on humidity in a low-flow anaesthesia system. *Anaesthesia*, 1997;52:144-149.
03. Perkins R, Meakin G - Economics of low-flow anaesthesia in children. *Anaesthesia*, 1996;51:1089-1092.
04. Baxter AD - Low flow and minimal flow inhalational anaesthesia. *Can J Anaesth*, 1997;44:643-653.
05. Baum JA - Low Flow Anaesthesia. *The Theory and Practice of Low Flow, Minimal Flow and Closed System Anaesthesia*. 2<sup>nd</sup> Ed, Damme Germany, Butterworth Heinemann, 1996;132-150.
06. Amato MBP, Barbas CSV, Medeiros DM et al - Effect of a protective - ventilation strategy on mortality in the acute respiratory distress syndrome. *N Eng J Med*, 1998;338:347-354.
07. Hooper J - Advances in mechanical ventilation. *Can J Anaesth*, 1998;45:R149-R154.
08. Slutsky AS - Mechanical ventilation (ACCP Consensus Conference). *Chest*, 1993;104:1833-1859.
09. Barbas CSV, Rothman A, Amato MBP et al - Técnicas de Assistência Ventilatória, em: Knobel E - *Conduas no Paciente Grave*, 1<sup>a</sup> Ed, São Paulo, Atheneu, 1995;312-346.
10. Marik PE, Krikorian J - Pressure-controlled ventilation in ARDS: a practical approach. *Chest*, 1997;112:1102-1106.
11. Dreyfuss D, Saumon G - Role of tidal volume, FRC, and end-inspiratory volume in the development of pulmonary edema following mechanical ventilation. *Am Rev Respir Dis*, 1993;148:1194-1203.
12. Tobin MJ - *Principles and Practice of Mechanical Ventilation*. Illinois-USA, McGraw Hill Ed, 1994;371:512-513.
13. Meade MO - An evidence-based approach to pressure-and volume-limited ventilation strategies. *Crit Care Clin*, 1998;14:373-385.
14. Auler Jr JOC, Pereira JCD - Efeitos Pulmonares da Ventilação Mecânica, em: Auler Jr JOC, Gomide do Amaral RV - *Assistência Ventilatória Mecânica*. 1<sup>a</sup> Ed, São Paulo, Atheneu, 1995;121-128.
15. Davis K, Branson RD, Campbell RS et al - Comparison of volume control and pressure control ventilation: is flow waveform the difference? *J Trauma*, 1996;41:808-814.
16. Adriani J, Griggs T - Rebreathing in pediatric anesthesia: recommendations and descriptions of improvements in apparatus. *Anesthesiology*, 1953;14:337-347.
17. Stephen CR, Slater HM - Agents and techniques employed in pediatric anesthesia. *Anesth Analg*, 1950;29:254-262.
18. Ver Steeg J, Stevens WC - A comparison of respiratory effort of infants anesthetized with several adult and pediatric systems. *Anesthesiology*, 1966;27:229.
19. Graff TD, Holzman RS, Benson DW - Acid-base balance in infants during halothane anesthesia with the use of an adult circle-absorption system. *Anesth Analg*, 1964;43:583-589.
20. Hughes DG - *Paediatric Anaesthetic Apparatus*, em: Mather SJ, Hughes DG - *Handbook of Paediatric Anaesthesia*. Bristol, UK, Oxford Med Public, 1996;43-61.
21. Hodgson DS - The Case for Nonbreathing Circuits for Very Small Animals, em: Haskins SC, Klide AM - *Opinions in Small Animal Anesthesia*. *The Veterinary Clinics of North America*, v 22:2, Philadelphia, W B Saunders Company, 1992;397-399.
22. Dunlop CI - The Case for Rebreathing Circuits for Very Small Animals, em: Haskins SC, Klide AM - *Opinions in Small Animal Anesthesia*. *The Veterinary Clinics of North America*, v 22:2, Philadelphia, W B Saunders Company, 1992;400-403.
23. Badgwell JM, Swan J, Foster AC - Volume-controlled ventilation is made possible in infants by using compliant breathing circuits with large compression volume. *Ped Anesthesia*, 1996;82:719-723.
24. Hernandez LA, Peevy KJ, Moise AA et al - Chest wall restriction limits high airway pressure-induced lung injury in young rabbits. *J Appl Physiol*, 1989;66:2364-2368.

25. Perez Fontán JJ, Heldt GP, Gregory GA - Dynamics of respiration during rapid rate mechanical ventilation in anesthetized and paralyzed rabbits. *Ped Research*, 1986;20:750-755.
26. Lachmann B, Grossmann G, Nilsson R et al - Lung mechanics during spontaneous ventilation in premature and fullterm rabbit neonates. *Respir Physiol*, 1979;38:283-302.
27. Crossfill ML, Widdicombe JG - Physical characteristics of the chest and lungs and the work of breathing in different mammalian species. *Physiology*, 1961;158:1-14.
28. Wyatt JD, Scott RAW, Richardson ME - The effects of prolonged ketamine - xylazine intravenous infusion on arterial blood pressure, heart and respiratory rates, rectal temperature and reflexes in the rabbits. *Lab An Sci*, 1989;39:411-416.
29. Baker AB - Low flow and closed circuits. *Anaesth Intensive Care*, 1994;22:341-142.
30. Lang SM, Eglen RM, Henry AC - Acetylpromazine administration: its effects on canine haematology. *Vet Rec*, 1979;105:397-398.
31. Shapiro BA, Harrison RA, Walton JR - Aplicações Clínicas dos Gases Sangüíneos, 2ª Ed, Rio de Janeiro, Ed Cultura Médica, 1980;282.
32. Baum JA - Low-flow anaesthesia. *Eur J Anaesth*, 1996;13:432-435.
33. Silva ED, Quinto D - Controle da Hipotermia Acidental, em: SAESP. Atualização em Anestesiologia, São Paulo, Office Editora, 1998;111-127.
34. Sessler DI - Conseqüências e Tratamento da Hipotermia Perioperatória, em: Levitt RC - Clínicas de Anestesiologia da América do Norte - Regulação da Temperatura durante a Anestesia, 1ª Ed, Rio de Janeiro, Interlivros Editora, 1994;417-449.
35. Motoyama EK, Davis PJ Smith's - Anestesia Pediátrica, 5ª Ed, São Paulo, Ed Santos, 1991;217-256.
36. Miyoshi MH - Síndrome do Desconforto Respiratório do Recém-Nascido, em: Carvalho WB, Freddi NA, Hirscheimer MR et al - Ventilação Pulmonar Mecânica em Pediatria. São Paulo, Atheneu, 1993;263-272.
37. Romand JA, Suter PM - Dynamic hyperinflation and intrinsic PEEP during mechanical ventilation. *Eur J Anaesth*, 1994;11:25-28.

## RESUMEN

Bonetti E, Fantoni DT, Auler Jr JOC - Evaluación de la Anestesia con Bajo Flujo de Gases, Comparando Ventilación con Presión Controlada a Ventilación con Tiempo Controlado - Presión Limitada y Flujo Constante de Gases. Modelo Experimental en Conejos

**Justificativa y Objetivos** - No obstante sean ampliamente conocidas las ventajas que envuelven sistemas de anestesia con reinhalación y bajo flujo, estos aun son poco empleados en animales de pequeño porte y en pediatría, principalmente por la carencia de equipamientos seguros para oferta de pequeño volumen corriente, por la necesidad de mayor monitoración y hasta por inseguridad de los anestesistas. El modelo experimental de este estudio fue delineado, buscándose evaluar la viabilidad del sistema con reinhalación y flujo de gases entre 500 y 1.000 ml.min<sup>-1</sup> en animales de pequeño porte, bien como comparar la ventilación en los modos tiempo controlado - presión limitada y flujo constante de gases, con la presión controlada (PCV), en un nuevo equipamiento desarrollado para la anestesia.

**Método** - Dieciséis conejos (hembras) fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos (G1 y GII), anestesiados con halotano, y sometidos a ventilación controlada mecánica. En G1, se permitían ajustes en los parámetros ventilatorios del ventilador (presión de pico inspiratorio, frecuencia respiratoria y tiempo inspiratorio), de forma a mantener normocapnia, volumen corriente entre 6 y 8 ml.kg<sup>-1</sup>, y pH sanguíneo arterial entre 7,35 y 7,45. En GII, los ajustes eran realizados solamente en el momento control.

**Resultados** - Se verificó reinhalación de dióxido de carbono en ambos grupos al evaluarse el sistema con reinhalación, independiente del modo de ventilación. El pH sanguíneo arterial se mantuvo dentro de los parámetros fisiológicos en el grupo G1, y en el GII se verificó acidosis respiratoria al evaluarse el sistema con reinhalación durante la ventilación con presión controlada.

**Conclusiones** - Con los resultados obtenidos se concluye que este sistema circular, en flujos entre 500 y 1.000 ml.min<sup>-1</sup>, es una alternativa en anestesia en pacientes de bajo peso, desde que la monitorización necesaria sea hecha. La eficiencia de la ventilación dependió primariamente de los parámetros ventilatorios ajustados, de la complacencia y resistencia de las vías aéreas, y no tanto del modo de ventilación escogido.