

# Umidificação e Aquecimento do Gás Inalado durante Ventilação Artificial com Baixo Fluxo e Fluxo Mínimo de Gases Frescos \*

## *Inhaled Gases Humidification and Heating during Artificial Ventilation with Low Flow and Minimal Fresh Gases Flow*

Susane Bruder Silveira Gorayb <sup>1</sup>; José Reinaldo Cerqueira Braz, TSA <sup>2</sup>; Regina Helena Garcia Martins <sup>3</sup>; Norma Sueli Pinheiro Módolo, TSA <sup>4</sup>; Giane Nakamura <sup>5</sup>

### RESUMO

Gorayb SBS, Braz JRC, Martins RHG, Módolo NSP, Nakamura G - Umidificação e Aquecimento do Gás Inalado durante Ventilação Artificial com Baixo Fluxo e Fluxo Mínimo de Gases Frescos

**JUSTIFICATIVA E OBJETIVOS:** Em pacientes sob intubação traqueal ou traqueostomia, a umidificação e o aquecimento do gás inalado são necessários para a prevenção de lesões no sistema respiratório, conseqüentes ao contato do gás frio e seco com as vias aéreas. O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do sistema respiratório circular com absorvedor de dióxido de carbono do aparelho de anestesia Cíbero da Dräger, quanto à capacidade de aquecimento e umidificação dos gases inalados, utilizando-se fluxo baixo (1L.min<sup>-1</sup>) ou mínimo (0,5 L.min<sup>-1</sup>) de gases frescos.

**MÉTODO:** O estudo aleatório foi realizado em 24 pacientes, estado físico ASA I, com idades entre 18 e 65 anos, submetidos à anestesia geral, utilizando-se a Estação de Trabalho Cíbero da Dräger (Alemanha), para realização de cirurgias abdominais, os quais foram distribuídos aleatoriamente em dois grupos: grupo de Baixo Fluxo (BF), no qual foi administrado 0,5 L.min<sup>-1</sup> de oxigênio e 0,5 L.min<sup>-1</sup> de óxido nítrico e fluxo mínimo (FM), administrando-se somente oxigênio a 0,5 L.min<sup>-1</sup>. Os atributos estudados foram temperatura, umidade relativa e absoluta da sala de operação e do gás no sistema inspiratório.

**RESULTADOS:** Os valores da temperatura, umidade relativa e umidade absoluta no sistema inspiratório na saída do aparelho de anestesia e junto ao tubo traqueal não apresentaram diferença significativa entre os grupos, mas aumentaram ao longo do tempo nos dois grupos (BF e FM), havendo influência da temperatura da sala de operação sobre a temperatura do

gás inalado, nos dois grupos estudados. Níveis de umidade e temperatura próximos dos ideais foram alcançados, nos dois grupos, a partir de 90 minutos.

**CONCLUSÕES:** Não há diferença significativa da umidade e temperatura do gás inalado utilizando-se baixo fluxo e fluxo mínimo de gases frescos.

**Unitermos:** EQUIPAMENTOS: aparelho de anestesia, absorvedor de CO<sub>2</sub>; TÉCNICAS ANESTÉSICAS, Geral: inalatória, baixo fluxo

### SUMMARY

Gorayb SBS, Braz JRC, Martins RHG, Módolo NSP, Nakamura G - Inhaled Gases Humidification and Heating during Artificial Ventilation with Low Flow and Minimal Fresh Gases Flow

**BACKGROUND AND OBJECTIVES:** Inhaled gas humidification and heating are necessary in patients under tracheal intubation or tracheostomy to prevent damage to respiratory system resulting from the contact of cold and dry gas with the airways. This study aimed at evaluating the effect of respiratory circle systems with carbon dioxide absorbers from Dräger's Cíbero anesthesia machine (Germany) as to inhaled gases heating and humidification ability using low fresh gases flow (1 L.min<sup>-1</sup>) or minimum flow (0.5 L.min<sup>-1</sup>).

**METHODS:** Participated in this study, 24 patients, physical status ASA I, aged 18-65 years, submitted to general anesthesia using Dräger's Cíbero workstation (Germany) for abdominal surgery, who were randomly distributed in two groups: low flow group (LF) received 0.5 L.min<sup>-1</sup> oxygen and 0.5 L.min<sup>-1</sup> nitrous oxide, and minimum flow group (MF) received 0.5 L.min<sup>-1</sup> oxygen only. Evaluated attributes were temperature, relative and absolute humidity of the operating room and of respiratory circuit gas.

**RESULTS:** There were no significant differences in inhaled gas temperature, relative and absolute humidity between groups, but they have increased along time in both groups, with influence of operating room temperature on inhaled gas temperature for both groups. Near optimal levels of humidity and temperature were reached as from 90 minutes in both groups.

**CONCLUSIONS:** There have been no significant differences in inhaled gas humidity and temperature with fresh gases low flow or minimum flow.

**Key Words:** ANESTHETIC TECHNIQUES, General: inhalational, low flow; EQUIPMENTS: anesthesia machine, CO<sub>2</sub> absorber

\* Recebido do (Received from) Hospital das Clínicas (HC) do CET/SBA do Departamento de Anestesiologia da Faculdade de Medicina de Botucatu (FMB), UNESP, no Programa de Pós-Graduação em Cirurgia

1. Pós-Graduanda (Mestrado) do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia da FMB - UNESP. Enfermeira-Chefe da Divisão Médica e Apoio Diagnóstico do HC da FMB - UNESP
2. Professor Titular do Departamento de Anestesiologia da FMB - UNESP
3. Professora Doutora do Departamento de Oftalmologia, Otorrinolaringologia e Cirurgia de Cabeça e Pescoço da FMB - UNESP
4. Professora Adjunta Livre-Docente do Departamento de Anestesiologia da FMB - UNESP
5. Pós-Graduanda (Doutorado) do Programa de Pós-Graduação em Anestesiologia da FMB - UNESP

Apresentado (Submitted) em 24 de fevereiro de 2003  
Aceito (Accepted) para publicação em 22 de maio de 2003

Endereço para correspondência (Correspondence to)  
Prof. Dr. José Reinaldo Cerqueira Braz  
Deptº de Anestesiologia da FMB - UNESP  
18618-970 Botucatu, SP

© Sociedade Brasileira de Anestesiologia, 2004

### INTRODUÇÃO

O paciente sob anestesia geral respira gases com baixo teor de umidade e a baixas temperaturas, às vezes por períodos prolongados. Quando se emprega o tubo traqueal, as funções do nariz, faringe, laringe e de parte da traquéia são anuladas, com a umidificação e o aquecimento dos ga-

ses tendo que ser realizado nas vias aéreas inferiores. Caso a umidificação e o aquecimento dos gases inalados não forem adequados, ocorrerá prejuízo funcional da mucosa das vias aéreas com alteração do movimento ciliar e aumento da viscosidade do muco, provocando endurecimento e incrustações das secreções, que interferem com a capacidade da traquéia de aquecer e umidificar o gás inalado, e predispor à formação de rolhas, que obstruem as vias aéreas, principalmente as de pequeno calibre, e os tubos traqueais<sup>1,2</sup>, com surgimento de atelectasias e complicações pulmonares<sup>3</sup>.

Assim, durante a ventilação artificial realizada sob intubação traqueal, o aquecimento e a umidificação dos gases inspirados são essenciais para assegurar a integridade das vias aéreas, preservação da função mucociliar e melhora das trocas gasosas<sup>4</sup>.

A umidade pode ser conceituada de várias formas: umidade máxima, que é a quantidade máxima de vapor de água que pode existir na fase gasosa de uma determinada atmosfera, na dependência de sua temperatura; umidade absoluta, que é a massa de vapor de água presente em determinado volume de gás, sendo usualmente expressa em mg de água por litro de gás; e umidade relativa representada pela relação entre a massa de vapor de água contida em um determinado volume de gás à determinada temperatura e a massa de vapor de água máxima que esse volume de gás poderia conter à mesma temperatura. Para facilitação dos cálculos de umidade existem tabelas propostas para cálculo de umidade absoluta em função da temperatura<sup>5</sup>.

Ainda não se tem completa concordância em relação aos níveis ideais de aquecimento e umidificação dos gases inalados pelos pacientes, mas torna-se necessário o estabelecimento de limites de aquecimento e umidificação do gás inspirado<sup>6,7</sup>. Teoricamente, a temperatura do gás deve estar próxima à da temperatura central, que é de 37 °C, e a umidade relativa não deve ultrapassar 100%, para que não ocorra desidratação da mucosa da árvore respiratória e a velocidade do transporte mucociliar seja máxima<sup>3</sup>.

Entre nós, verificou-se, em estudo experimental em cães submetidos à intubação traqueal e ventilação mecânica durante três horas, os efeitos do aquecimento e umidificação absoluta dos gases inspirados, de acordo com as alterações histológicas do epitélio da mucosa da árvore traqueobrônquica à microscopia óptica. Os autores concluíram que o aquecimento e a umidificação absoluta dos gases inspirados não devem ultrapassar respectivamente 36 °C e 36 mg de água por litro de gás inspirado e não devem ser inferiores a 27 °C ou apresentarem umidade absoluta inferior a 23 mg de água.L<sup>-1</sup><sup>8</sup>.

O interesse pela técnica de baixo fluxo de gases frescos durante a anestesia geral inalatória aumentou muito nos últimos anos, por apresentar importantes vantagens, como baixo consumo de anestésico inalatório, umidificação e aquecimento do gás inspiratório mais efetivos e diminuição importante da poluição ambiental<sup>9-11</sup>. No entanto, o sistema com baixo fluxo de gases frescos apresenta desvantagens, como a necessidade de maior conhecimento, atenção e cuidados

do anesthesiologista, a impossibilidade de rápida alteração da concentração inspirada do anestésico inalatório, maior perigo de produção de hiper carbia pela exaustão mais rápida do sistema de absorção de dióxido de carbono, o eventual acúmulo de gases indesejados, como monóxido de carbono, acetona, metano, além de metabólitos tóxicos dos agentes anestésicos, argônio e nitrogênio<sup>12,13</sup>, obrigando a realização de "lavagem" periódica do sistema com alto fluxo de gases frescos por alguns minutos.

Na revisão da literatura, encontra-se grande diversidade de opiniões sobre o fluxo de gases propostos para a definição de fluxo basal, fluxo mínimo e fluxo baixo. Baker (1994)<sup>12</sup> sugeriu modificação baseada na classificação de Simionescu (1986)<sup>14</sup>, com relação ao fluxo de gás empregado (Tabela I).

Tabela I - Fluxos de Gases Frescos Segundo Proposição de Baker (1994)<sup>12</sup>

Autor	Fluxo de Gás
Fluxo metabólico basal	250 ml.min <sup>-1</sup>
Fluxo mínimo	250 - 500 ml.min <sup>-1</sup>
Fluxo baixo	500 - 1000 ml.min <sup>-1</sup>
Fluxo médio	1 - 2 L.min <sup>-1</sup>
Fluxo intermediário	2 - 4 L.min <sup>-1</sup>
Fluxo alto	> 4 L.min <sup>-1</sup>

A redução do fluxo de gás fresco leva ao maior aproveitamento do calor e da umidade gerados no reservatório do absorvedor, por meio da reação de neutralização do CO<sub>2</sub> da mistura exalada pela cal sodada, que é exotérmica e leva à formação de água<sup>15,16</sup>. Vários autores utilizaram baixo fluxo de gases frescos com bons resultados, porém com eficiência variável em relação ao aproveitamento do calor e umidade<sup>2,16-19</sup>. As diferenças encontradas podem ser explicadas por alterações nas montagens dos sistemas respiratórios empregados, pelos diferentes métodos utilizados para medida de umidade presente nos gases inspirados e diferentes fluxos utilizados na técnica de baixo fluxo de gases frescos<sup>2,18</sup>.

Entre os aparelhos de anestesia para administração de anestésicos inalatórios em pacientes que recebem anestesia geral inalatória, o Cícero da Dräger (Alemanha) apresenta característica especial do sistema respiratório. O mesmo foi projetado para que o fluxo de gases frescos passe três vezes pela cal sodada, antes de ser enviado para o paciente, além de haver uma placa para aquecimento do gás expirado, para evitar condensação de água no sistema. Essas características do aparelho podem ser muito eficientes na melhoria do nível de aquecimento e umidificação dos gases inalados.

O objetivo da pesquisa foi avaliar o efeito do sistema respiratório circular com absorvedor de dióxido de carbono do aparelho de anestesia Cícero, utilizando-se baixo fluxo (1 L.min<sup>-1</sup>) ou fluxo mínimo (0,5 L.min<sup>-1</sup>) de gases frescos, quanto à capacidade de aquecimento e umidificação dos gases inalados.

## MÉTODO

Após a aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa local e obtido o consentimento dos pacientes, foram estudados 24 pacientes adultos, de ambos os sexos, com idade igual ou superior a 18 anos e inferior a 65 anos, estado físico ASA I, submetidos à cirurgia abdominal, de duração igual ou superior a duas horas, sob anestesia geral com ventilação artificial. Os pacientes foram distribuídos de forma aleatória, em dois grupos de 12 pacientes, que se diferenciaram pelo fluxo administrado durante a ventilação, como segue:

Grupo BF: baixo fluxo de gases frescos, sendo administrado oxigênio ( $0,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e óxido nitroso ( $0,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

Grupo FM: fluxo mínimo de gás fresco, sendo administrado somente oxigênio ( $0,5 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ).

Após medicação pré-anestésica com midazolam, na dose de 15 mg por via oral, 60 minutos antes da anestesia, a indução anestésica foi realizada com sufentanil ( $0,7 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ), propofol ( $2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) e cisatracúrio ( $150 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ). Após a intubação traqueal, a anestesia foi mantida com isoflurano em concentração máxima de 0,8 %, ou seja, uma concentração alveolar mínima, com fluxo de gases frescos de acordo com o grupo de estudo, em sistema fechado com absorção de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), empregando-se o aparelho de anestesia Cíceros, da Dräger, e infusão contínua de sufentanil ( $0,01 - 0,005 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ) e cisatracúrio ( $2 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ), utilizando-se bomba de infusão de dois canais. As frações inspiradas e expiradas de óxido nitroso, oxigênio e dióxido de carbono, o volume corrente e a frequência respiratória foram monitorados continuamente por meio do coletor de gases e do agente halogenado situado entre o sistema anestésico e o tubo traqueal. Nos dois grupos, utilizou-se volume corrente de  $8 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1}$  e a frequência respiratória foi ajustada para manter a  $P_{\text{ETCO}_2}$  entre 30 e 35 mmHg.

Os pacientes tiveram ainda como monitorização: eletrocardiografia (derivação  $D_{II}$  e  $V_5$ ), saturação periférica de oxigênio da oxihemoglobina ( $\text{SpO}_2$ ), capnometria ( $P_{\text{ETCO}_2}$ ), pressão arterial não invasiva, bloqueio neuromuscular por meio da seqüência de quatro estímulos, procurando-se sempre a ausência de resposta ou mínima resposta aos estímulos, e temperatura central, por meio de sensor colocado no esôfago inferior.

A medida da temperatura e da umidade relativa do ar ambiente foi obtida por meio de leitura no termo-higrômetro digital eletrônico Higrómetro 95, da Gulston do Brasil, por meio de sensor colocado próximo ao paciente nos momentos estudados. A determinação dos valores da temperatura e umidade relativa dos gases no sistema inspiratório foi feita pelo mesmo termo-higrômetro anterior, conectando-se o seu sensor, por meio de uma peça em T, inicialmente na saída do sistema respiratório, junto à estação de trabalho, e em seguida, entre a peça em "Y" do sistema respiratório e o tubo traqueal nos momentos estudados. O termo-higrômetro utilizado emprega como sensor de umidade relativa, um filme de polímero capacitativo da marca Parametrics®. A constante dielétrica do sen-

sor muda com as variações de umidade relativa expressa em um mostrador digital, juntamente com o da temperatura. Para cálculo da umidade absoluta, utilizou-se a fórmula<sup>5</sup>:

$$DA = \frac{DS \times F}{100}$$

Onde:

DA = umidade absoluta do ar inspirado ( $\text{mg H}_2\text{O} \cdot \text{L}^{-1}$ );

DS = umidade relativa do ar em condições de saturação ( $\text{mg H}_2\text{O} \cdot \text{L}^{-1}$ ), obtida em tabela específica<sup>5</sup> e utilizando-se a temperatura do gás inspirado ( $^{\circ}\text{C}$ );

F = umidade relativa do gás inspirado (%).

O sistema ventilatório do aparelho de anestesia Cíceros recebe aquecimento adicional por meio de placa aquecida, situada junto à parte expiratória do sistema, ao lado do pistão do respirador. Assim, o gás expirado pelo paciente passa inicialmente pela válvula expiratória, que nessa fase encontra-se aberta. Em seguida, pela placa aquecida, permanecendo aquecida e umidificada, sem que ocorra condensação de água, por não existir superfície fria dentro do sistema respiratório, passando a seguir e pela primeira vez pela cal sodada em direção ao reservatório de gás fresco (balão). Em seguida, o gás expirado juntamente com o fluxo adicional de gases frescos do reservatório são "puxados" pela movimentação do pistão do respirador para o preenchimento desse último, passando antes (o gás expirado pela segunda vez e o fluxo de gases frescos pela primeira vez) pela cal sodada. Com o fechamento das válvulas expiratória e de ventilação de pressão positiva intermitente, e a abertura de válvula inspiratória, a movimentação do pistão do respirador envia a mistura gasosa ao paciente, passando antes e novamente pela cal sodada (o gás expirado pela terceira vez). A cal sodada, em formato de pilulas, foi trocada antes de cada experimento. A capacidade do canister (reservatório) de cal sodada é de 1,5 L. No sistema respiratório, utilizaram-se dois tubos corrugados de silicone, de 1,20 m de comprimento, que também foram trocados antes de cada experimento. No sistema respiratório não foi utilizado filtros ou permutadores de calor e umidade.

Nas determinações da temperatura da placa e do canister da cal sodada, utilizaram-se o termômetro de dois canais Thermistor 400, mod. 6150 da Mallinckrodt (EUA) e sensores de temperatura de pele, também da Mallinckrodt (EUA). Em um dos canais, instalou-se a temperatura da placa situada junto ao sistema respiratório interno do aparelho, no qual fixou-se um sensor de temperatura. No segundo canal, utilizou-se a temperatura da cal sodada, por meio de sensor fixado na parede externa do canister, em sua parte inferior, em local em que a temperatura foi mais elevada.

A leitura dos atributos de umidade e de temperatura foi feita nos momentos:  $M_0$  (controle) - imediatamente, após a instalação do sistema ventilatório, de acordo com o grupo estudado, que ocorreu após 10 minutos da instalação do sistema de ventilação com a utilização de fluxo de oxigênio de  $2 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ , necessário para completo preenchimento dos gases e do

anestésico inalatório dentro do sistema respiratório, e  $M_{30}$ ,  $M_{60}$ ,  $M_{90}$  e  $M_{120}$ , respectivamente após 30, 60, 90 e 120 minutos da instalação do sistema de ventilação, de acordo com o grupo.

#### Métodos Estatísticos

Para as variações antropométricas, utilizou-se o teste *t* de Student e para a distribuição dos sexos o teste Exato de Fisher. Para as variáveis que apresentaram distribuição normal e homogeneidade de variância, utilizou-se ANOVA, seguida do método de comparação múltipla de Tukey. Em caso de distribuição não paramétrica, aplicou-se o teste de Mann-Whitney na comparação entre os valores dos dois grupos e o teste de Friedman, na comparação entre os valores no mesmo grupo. Aplicou-se ainda o diagrama de dispersão para análise de correlação entre a temperatura da sala de operação e a temperatura do gás inalado. Níveis de significância menores do que 0,05 foram considerados significantes.

Para os atributos que atenderam ao pressuposto de normalidade, os resultados são expressos pela média e desvio padrão dos dados obtidos. Para os atributos não paramétricos, os resultados são expressos pela mediana e os 1º e 3º quartis, sendo que no 1º quartil situam-se 25% dos valores observados, enquanto no 3º quartil encontram-se 75% dos valores observados.

## RESULTADOS

Os dois grupos mostraram-se homogêneos para as variáveis antropométricas (Tabela II). Quanto ao sexo, a distribuição também foi homogênea na comparação dos grupos, com predomínio do sexo feminino nos dois grupos (Tabela II).

Tabela II - Dados Antropométricos (Média ± Desvio Padrão), Distribuição dos Sexos e Indicação do Valor de *p* nos Grupos Estudados

Atributos	Grupos		Valor de <i>p</i>
	BF	FM	
Idade (anos)	41,4 ± 11,9	35,2 ± 11,6	0,20
Peso (kg)	64,7 ± 9,0	68,3 ± 15,8	0,50
Altura (m)	1,61 ± 0,08	1,64 ± 0,08	0,31
Sexo (M/F)	4/8	3/9	> 0,50

A temperatura e as umidades relativa e absoluta da sala de operação não apresentaram diferença significativa entre os grupos e os momentos estudados ( $p > 0,05$ ) (Tabela III). A temperatura esofagiana não apresentou diferença significativa entre grupos e momentos ( $p > 0,05$ ) (Tabela IV). Já a temperatura do canister da cal sodada foi significativamente maior no momento M90 no grupo FM em relação ao grupo BF ( $p < 0,05$ ), com aumento significativo de seus valores ao lon-

Tabela III - Temperatura, Umidade Relativa e Umidade Absoluta da Sala de Operação (Média ± DP)

Atributos	Grupos	Momentos (minutos)				
		$M_0$	$M_{30}$	$M_{60}$	$M_{90}$	$M_{120}$
Temperatura (°C)	BF	25,1 ± 1	25,4 ± 1,7	25,1 ± 1,5	25,2 ± 1,6	25,2 ± 1,6
	FM	24,3 ± 1,8	24,9 ± 1,6	25 ± 1,8	24,8 ± 1,6	24,9 ± 1,5
Umidade relativa (%)	BF	54,1 ± 7,3	52,8 ± 6,8	52 ± 8,3	55 ± 10	54,1 ± 8,6
	FM	57,4 ± 9,2	59,9 ± 10,3	59,1 ± 10	58 ± 9,4	60,7 ± 15,1
Umidade absoluta (mgH <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> )	BF	12,8 ± 2	12,2 ± 1,6	11,9 ± 2,1	12,6 ± 2,5	12,5 ± 2,1
	FM	12,7 ± 2,7	13,7 ± 2,6	13,5 ± 2,6	13,1 ± 2,5	13,3 ± 2,5

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

Tabela IV - Temperatura Esofagiana, Temperatura do Canister da Cal Sodada e Temperatura da Placa Junto ao Sistema Respiratório (Mediana, 1º e 3º Quartis)

Atributos	Grupos	Momentos (minutos)				
		$M_0$	$M_{30}$	$M_{60}$	$M_{90}$	$M_{120}$
Temperatura esofagiana (°C)	BF	36,2 (36,0-36,6)	36,2 (35,7-36,4)	35,9 (35,6-36,2)	36,0 (35,6-36,2)	35,9 (35,6-36,2)
	FM	36,0 (35,5-36,6)	35,9 (35,8-36,6)	36,1 (35,8-36,6)	36,2 (35,8-36,5)	36,1 (35,8-36,5)
Temperatura do canister da cal sodada (°C)	BF	25,7 (24,5-26,2)	27,3* (26,5-29,5)	30,5* (28,9-32,6)	31,6* (30,7-33,0)	32,3* (31,6-33,2)
	FM	24,0 (23,2-26,7)	27,7* (24,6-29,4)	31,9* (29,9-32,8)	33,3##* (31,9-33,8)	33,6* (32,6-34,6)
Temperatura da placa junto ao sistema expiratório (°C)	BF	34,0 (32,9-35,1)	35,2* (34,4-36,2)	35,7* (35,1-37,4)	36,6* (36,1-38,2)	37* (36,8-38,6)
	FM	34,3 (29,6-35,8)	35,0* (33,3-36,5)	35,8* (34,9-37,0)	36,4* (35,6-37,7)	36,9* (36,4-38,5)

#  $p < 0,05$ : FM > BF em  $M_{90}$

\*  $p < 0,05$ : BF e FM:  $M_0 < M_{30} < M_{60} < M_{90} < M_{120}$  em relação à temperatura do canister

\*  $p < 0,05$ : BF e FM:  $M_0 < (M_{30} = M_{60}) < (M_{90} = M_{120})$  em relação à temperatura da placa junto ao sistema expiratório

go do tempo nos dois grupos ( $p < 0,05$ ) (Tabela IV). A temperatura da placa junto ao sistema expiratório não apresentou diferença significativa entre grupos ( $p > 0,05$ ), mas aumentou ao longo do tempo nos dois grupos ( $p < 0,05$ ). A temperatura do gás no ramo inspiratório na saída do aparelho de anestesia e junto ao tubo traqueal não apresentou diferença significativa entre os grupos ( $p > 0,05$ ), mas aumentou significativamente ao longo do tempo nos dois grupos ( $p < 0,05$ ) (Figuras 1 e 2, respectivamente). O diagrama de dispersão para análise da correção entre a temperatura da sala de operação e a temperatura do gás inalado nos grupos BF e FM pode ser observado, respectivamente, nas figuras 3 e 4. Houve correlação significativa entre as duas temperaturas nos dois grupos ( $p < 0,001$ ).

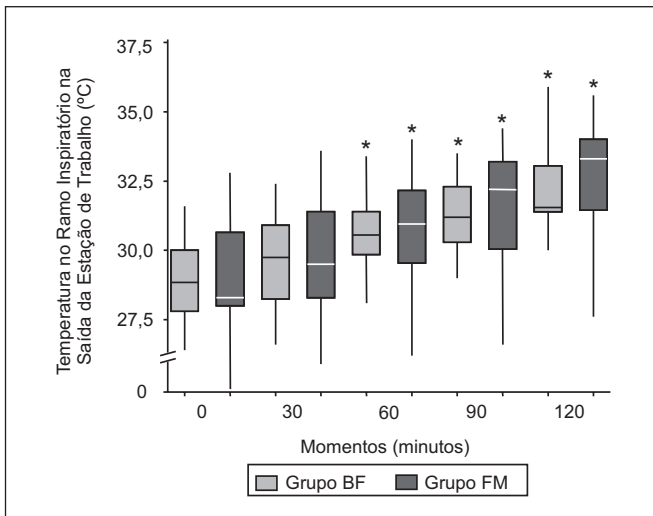


Figura 1 - Valores Mínimo, do 1º Quartil, da Mediana, do 3º Quartil e Máximo Obtidos em cada Momento na Temperatura do Ramo Inspiratório na Saída do Aparelho de Anestesia  
\*  $p < 0,05$  em BF e FM: ( $M_0 = M_{30}$ )  $< M_{60} < M_{90} < M_{120}$

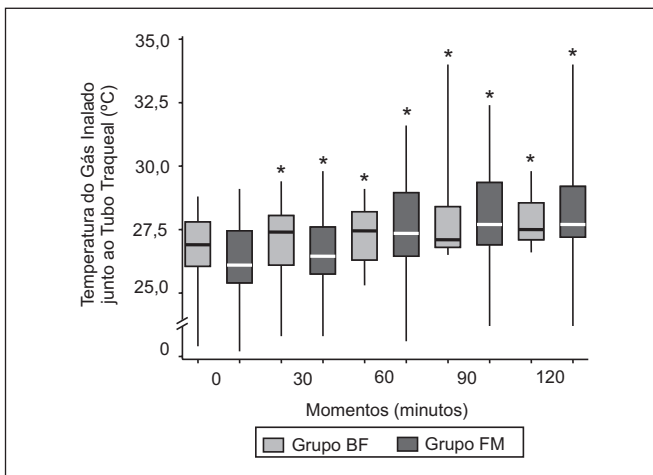


Figura 2 - Valores Mínimo, do 1º Quartil, da Mediana, do 3º Quartil e Máximo Obtidos em cada Momento na Temperatura do Gás Inalado junto ao Tubo Traqueal  
\*  $p < 0,05$  em BF:  $M_0 < (M_{30} = M_{60} = M_{90}) < M_{120}$   
\*  $p < 0,05$  em FM:  $M_0 < M_{30} < (M_{60} = M_{90} = M_{120})$

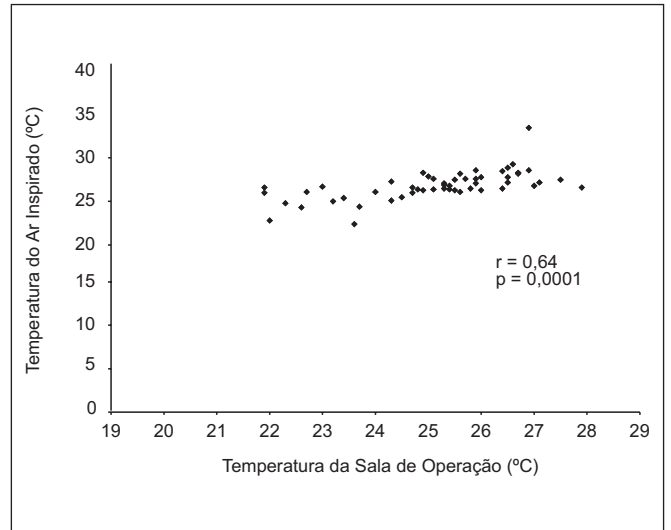


Figura 3 - Diagrama de Dispersão Referente às Temperaturas Ambiente e do Gás Inalado junto ao Tubo Traqueal no Grupo Baixo Fluxo

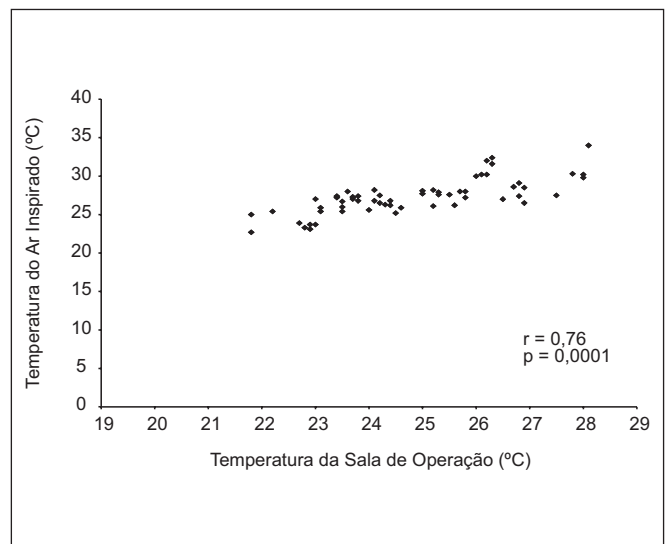


Figura 4 - Diagrama de Dispersão Referente às Temperaturas Ambiente e do Gás Inalado junto ao Tubo Traqueal no Grupo Fluxo Mínimo

A umidade relativa do ramo inspiratório na saída do aparelho de anestesia e junto ao tubo traqueal não apresentou diferença significativa entre os grupos ( $p > 0,05$ ), mas aumentou ao longo do tempo nos dois grupos ( $p < 0,05$ ) (Figuras 5 e 6, respectivamente).

A umidade absoluta do ramo inspiratório na saída do aparelho de anestesia e junto ao tubo traqueal não apresentou diferença significativa entre os grupos ( $p > 0,05$ ), mas aumentou ao longo do tempo nos dois grupos ( $p < 0,05$ ) (Figuras 7 e 8, respectivamente).

UMIDIFICAÇÃO E AQUECIMENTO DO GÁS INALADO DURANTE VENTILAÇÃO ARTIFICIAL COM BAIXO FLUXO E FLUXO MÍNIMO DE GASES FRESCOS

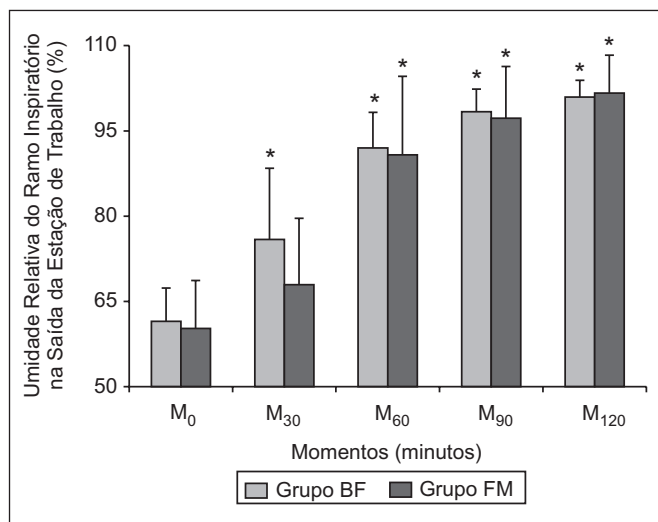


Figura 5 - Valores Mínimo, do 1º Quartil, da Mediana, do 3º Quartil e Máximo Obtidos em cada Momento na Umidade Relativa do Ramo Inspiratório na Saída do Aparelho de Anestesia \* p < 0,05  
 Grupo BF: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < M<sub>60</sub> < M<sub>120</sub>  
 Grupo FM: (M<sub>0</sub> = M<sub>30</sub>) < M<sub>60</sub> < M<sub>120</sub>  
 Os valores de M<sub>90</sub> foram intermediários aos de M<sub>60</sub> e M<sub>120</sub> nos dois grupos

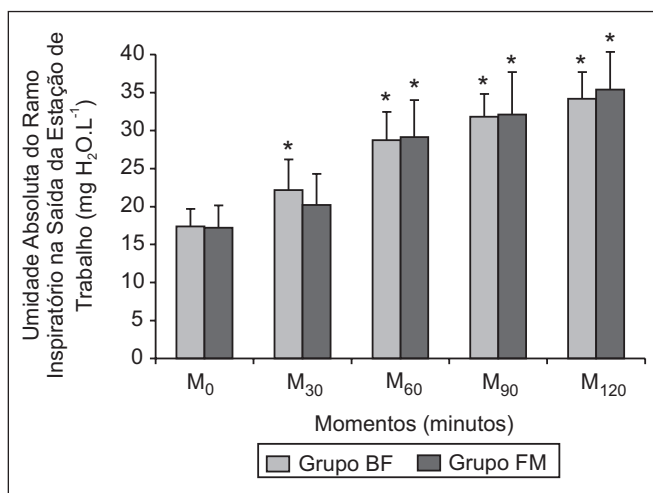


Figura 7 - Valores Mínimo, do 1º Quartil, da Mediana, do 3º Quartil e Máximo Obtidos em cada Momento na Umidade Absoluta do Ramo Inspiratório na Saída do Aparelho de Anestesia \* p < 0,05  
 Grupo BF: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < M<sub>60</sub> = M<sub>90</sub> = M<sub>120</sub>  
 Grupo FM: (M<sub>0</sub> = M<sub>30</sub>) < M<sub>60</sub> < M<sub>120</sub>  
 Os valores de M<sub>90</sub> são intermediários aos de M<sub>60</sub> e M<sub>120</sub>

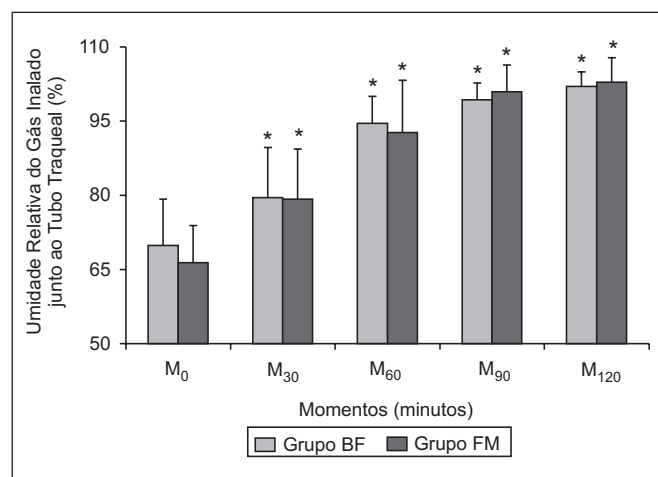


Figura 6 - Valores Mínimo, do 1º Quartil, da Mediana, do 3º Quartil e Máximo Obtidos em cada Momento na Umidade Relativa do Gás Inalado junto ao Tubo Traqueal \* p < 0,05 em BF e FM: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < M<sub>60</sub> < M<sub>120</sub>  
 Os valores de M<sub>90</sub> foram intermediários aos de M<sub>60</sub> e M<sub>120</sub> nos dois grupos

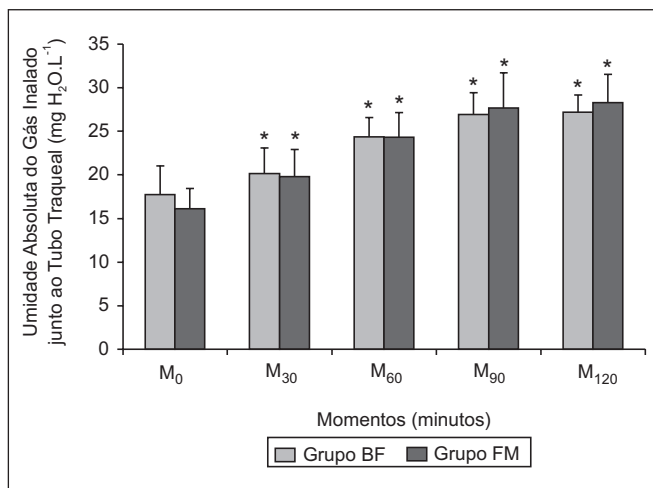


Figura 8 - Valores Mínimo, do 1º Quartil, da Mediana, do 3º Quartil e Máximo Obtidos em cada Momento na Umidade Absoluta do Gás Inalado junto ao Tubo Traqueal \* p < 0,05 em BF e FM: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < (M<sub>60</sub> = M<sub>90</sub> = M<sub>120</sub>)

## DISCUSSÃO

A temperatura do gás inalado na saída do aparelho de anestesia nos dois grupos mostrou-se adequada, desde o início do experimento, ocorrendo aumento dos seus valores durante o experimento (Figura 1). Esses resultados já eram esperados por nós, uma vez que o aparelho Cícero da Dräger é provido de recursos para melhoria do aquecimento e umidificação do gás inspirado. Assim, ele possui placa de aqueci-

mento acoplado junto ao sistema respiratório que, segundo o fabricante, tem a finalidade principal de evitar a condensação de água do ar expirado pelo resfriamento do mesmo no interior do sistema respiratório, o que poderia interferir no funcionamento adequado das válvulas e do ventilador. Mas essa placa de aquecimento ajuda também a manter a temperatura do gás no sistema respiratório em níveis adequados. Em nossa pesquisa, os valores da temperatura da placa não apresentaram diferença entre os grupos, mas aumentaram gradativamente ao longo do tempo (Tabela IV).

Outros fatores tão ou mais importantes para a manutenção da temperatura do gás inalado também foram incorporados no Cícero, como o reaproveitamento do calor e umidade provenientes da reação da neutralização da cal sodada, pois o gás expirado passa três vezes pelo reservatório da cal sodada antes de chegar ao paciente.

Demonstrou-se que quanto menor o fluxo de gases frescos maior será a temperatura no absorvedor<sup>18</sup>. Assim, os autores, ao utilizarem fluxos de 0,5 L.min<sup>-1</sup> ou 1 L.min<sup>-1</sup>, observaram que a temperatura da cal sodada atingiu a temperatura média de 39 °C após 30 a 40 minutos. A diferença nos valores da temperatura observados nessa e na presente pesquisa pode ser creditada aos diferentes aparelhos e métodos utilizados para medição de temperatura. Assim, Torres e col. (1997)<sup>18</sup> realizaram a mensuração da temperatura do reservatório na superfície externa, com termômetro infravermelho. Esse método permite varredura da temperatura em uma superfície maior, sendo sua leitura estabelecida no ponto onde ela é mais elevada. Em nossa pesquisa, utilizou-se termômetro elétrico simples, com o sensor fixado na parte inferior da superfície externa do reservatório da cal sodada, local onde a temperatura foi sempre mais elevada.

Em pesquisa experimental em cães, utilizando baixo fluxo de gases frescos (1 L.min<sup>-1</sup>) e dois canisters, que continham 1.800 g de cal sodada cada um, observou-se que a temperatura externa no local de maior aquecimento dos canisters passou de 23 °C para a temperatura máxima de 29 °C, após três horas, utilizando termômetro elétrico para a medição da temperatura<sup>20</sup>. No sistema circular empregado, a entrada de gases frescos foi feita junto ao ramo inspiratório e o escape do excesso de gás no sistema ocorreu, antes que todo o gás exalado passasse pela cal sodada, o que certamente contribuiu para diminuir a intensidade da reação de neutralização da cal sodada.

Alguns autores<sup>22-24</sup> conseguiram melhores resultados no aquecimento do gás inalado, a partir de alterações nas montagens dos sistemas de anestesia e diminuição dos fluxos de gases empregados. Observou-se também melhor aproveitamento de calor e umidade quando a entrada do fluxo de gás fresco ocorre antes do reservatório da cal sodada<sup>18</sup>.

Desta forma, conclui-se que os gases frescos provenientes do reservatório de gases hospitalares (à temperatura ambiente próxima a 20 °C), utilizando-se sistema valvular sem absorvedor de CO<sub>2</sub> ou naqueles com absorvedor de CO<sub>2</sub> onde ocorre mistura dos gases provenientes da cal sodada com o fluxo adicional de gases frescos, atingem o ramo inspiratório à temperatura próxima à ambiente, se nenhum sistema de aquecimento ou isolamento térmico for usado<sup>15,19</sup>.

Outra maneira de tornar mais eficiente o calor e a umidade dos gases inspirados é o uso de reservatório pequeno de cal sodada. Em nosso experimento, utilizou-se um reservatório grande, com capacidade de 1,5 litros. Ao utilizar-se, em pesquisa experimental, dois tipos de reservatório, um grande e um pequeno, observou-se que utilizando reservatório pequeno da cal sodada há maior liberação de calor e umidade e, conseqüentemente, melhor aproveitamento do calor e umidade aos gases inspirados<sup>24</sup>. A desvantagem do método é a

necessidade da troca freqüente da cal sodada, pois a mesma satura-se rapidamente.

Nos dois grupos, após 60 minutos do início do estudo, os valores da temperatura dos gases na saída do aparelho de anestesia foram semelhantes aos da temperatura da cal sodada. Esses resultados demonstram que o fluxo de gás incorporou o calor produzido na reação química da cal sodada com o CO<sub>2</sub>.

Entretanto, os resultados obtidos por outros autores<sup>18</sup> não foram semelhantes aos nossos. Assim, ao utilizarem-se baixos fluxos de gases frescos (1 L.min<sup>-1</sup> e 0,5 L.min<sup>-1</sup>) em sistema respiratório com absorvedor de CO<sub>2</sub>, observaram-se temperaturas muito elevadas no canister da cal sodada, ao redor de 40 °C, mas com a temperatura do gás inalado apresentando valores ao redor de 19 °C a 22 °C. Segundo os autores, isso pode ter ocorrido em decorrência da perda do calor gerado para o meio ambiente, cuja temperatura foi mantida ao redor de 20,5 °C, ou mesmo para outras partes do sistema respiratório, indicando baixo isolamento térmico do sistema respiratório.

Em nossa pesquisa, a análise dos dados referentes à temperatura do gás inalado junto ao tubo traqueal mostrou que não houve diferença significativa entre os grupos, mas ocorreu diminuição importante da temperatura do gás inalado, em relação à temperatura do gás na saída do aparelho de anestesia, havendo perda ao redor de 4 °C no grupo de BF e de 5 °C no grupo FM (Figura 2). Deve-se destacar que a grande maioria dos tubos corrugados dos sistemas respiratórios é constituída de silicone, de policloreto de vinil (PVC) ou de outros materiais de baixo isolamento térmico.

Nos dois grupos houve correlação significativa entre a temperatura do gás inalado e a temperatura ambiente (Figuras 3 e 4). Esses resultados estão de acordo com os obtidos por outros autores<sup>15,18, 20-22,25</sup>. Os autores<sup>18</sup> verificaram ainda que essa correlação é independente do fluxo adicional dos gases passar ou não pela cal sodada, antes de ser incorporado ao ramo inspiratório. Nessa pesquisa, os autores concluem que o calor gerado na cal sodada não foi incorporado totalmente ao gás inspirado pela transferência parcial ao meio ambiente, que normalmente apresenta temperatura mais baixa. Essa transferência de calor somente não ocorreu quando os autores realizaram isolamento térmico dos tubos corrugados com papel alumínio, quando obtiveram maiores temperaturas do gás inalado.

Deve-se ressaltar que, na presente pesquisa, temperaturas mais elevadas do gás inalado somente ocorreram após decorridos 30 a 60 minutos do início da pesquisa, quando a temperatura média do gás inalado alcançou 27,4 °C no grupo BF e 27,3 °C no grupo FM. Fato semelhante também foi observado por Kleemann (1994)<sup>2</sup>, com temperatura adequada do gás inalado, obtida somente quando o autor utilizou fluxo de gases frescos de 0,6 L.min<sup>-1</sup>, após 90 minutos.

Diferentemente dos resultados encontrados em relação à temperatura, os dados relativos à umidade relativa do gás na saída do aparelho de anestesia e junto ao tubo traqueal nos dois grupos estudados foram semelhantes entre si (Figuras 5 e 6, respectivamente).

A maior parte dos trabalhos preconiza valores elevados de umidade relativa (próximos a 100%) do gás inspirado para evitar que ocorram alterações do epitélio respiratório e da atividade mucociliar<sup>26,27</sup>. Em nossa pesquisa, valores próximos a esses somente foram obtidos a partir de 60 minutos do experimento.

Os gases anestésicos disponíveis comercialmente são intencionalmente secos para prevenirem a obstrução das válvulas dos sistemas respiratórios. Entretanto, esses gases, na verdade, diminuem a quantidade de umidade disponível ao paciente. A fonte de umidade no sistema anestésico passa a depender da água incorporada nos grânulos da cal sodada, da reação exotérmica de neutralização da cal sodada que emite vapor de água, dos gases úmidos e aquecidos exalados pelo paciente no sistema respiratório, do uso prévio do sistema do ventilador que retoma água da condensação acumulada durante o seu uso, da utilização de baixo fluxo e fluxo mínimo de gases durante a anestesia e do uso de permutador de calor e umidade<sup>3,18,19,28</sup>.

Aldrete e col. (1981)<sup>28</sup>, ao utilizarem sistema respiratório valvular com absorvedor de CO<sub>2</sub> e fluxos de gases frescos de 5; 2; 0,5 e 0,3 L.min<sup>-1</sup> em pacientes submetidos a cirurgias abdominais, mostraram que a umidade relativa no ramo inspiratório tornou-se gradativamente mais elevada com a diminuição do fluxo de gases frescos, chegando a 98% com fluxo de 0,3 L.min<sup>-1</sup>.

Por outro lado, os valores da umidade absoluta na saída do aparelho de anestesia, sem que houvesse diferença significativa entre os grupos, estiveram sempre acima de 20 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>, com exceção do momento controle, alcançado após 120 minutos valores ao redor de 34 a 35 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup> (Figura 7). Porém, a umidade absoluta do gás inalado junto ao tubo traqueal apresentou valores mais baixos, mas ainda superiores a 20 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>, com exceção do momento controle, alcançando valores mais elevados a partir de 60 minutos, atingindo a média de 27 a 28 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup> no final da pesquisa (Figura 8).

Assim, em nossa pesquisa, diferentemente do que ocorreu com a umidade relativa, houve grande diferença entre a umidade absoluta na saída do aparelho de anestesia e a do gás inalado, certamente pela influência importante da temperatura ambiente na temperatura do gás inalado.

Kleemann (1990)<sup>29</sup>, em estudo experimental em porcos sob anestesia, ventilou os animais por 10 horas utilizando o aparelho Dräger AV1 (Alemanha), com fluxos de 0,5 e 6 L.min<sup>-1</sup> da mistura de oxigênio (40%) e óxido nitroso (60%). No final do experimento, o autor removeu a árvore traqueobrônquica e realizou biópsias da mesma para estudo à microscopia eletrônica de varredura. No grupo controle, a árvore traqueobrônquica foi removida após 20 minutos da indução anestésica. No grupo que recebeu alto fluxo de gases frescos (6 L.min<sup>-1</sup>), as gotas de muco mostraram alterações importantes relacionadas à desidratação e os cílios formaram grupamentos e havia várias áreas de rarefação ciliar, com exposição das células epiteliais, particularmente mais freqüentes nas áreas da bifurcação traqueal e dos brônquios principais. No grupo com fluxo mínimo de 0,5 L.min<sup>-1</sup>, o epitélio ciliar

apresentava-se relativamente inalterado, com os cílios e o muco não apresentando alterações significativas em relação ao grupo controle.

O mesmo autor anterior realizou pesquisa clínica<sup>29</sup>, determinando a temperatura e a umidade do gás inalado durante a anestesia, empregando no grupo I o aparelho AV1 da Dräger (Alemanha) e fluxo de gás fresco de 0,6 L.min<sup>-1</sup>, e nos grupos II, III e IV utilizaram o aparelho de anestesia Sulla 800 V da Dräger (Alemanha) e fluxo de gás fresco de 1,5; 3 e 6 L.min<sup>-1</sup>, respectivamente. Os resultados mostraram que fluxos intermediários (1,5 L.min<sup>-1</sup>) e elevados (3 e 6 L.min<sup>-1</sup>) determinam níveis inadequados do gás inalado, com temperatura máxima de 24,5 °C e umidade absoluta máxima de 16 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>, enquanto o fluxo mínimo de gás (0,6 L.min<sup>-1</sup>) determina níveis adequados de temperatura (31 °C) e razoáveis da umidade absoluta (21,3 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>) do gás inalado após 1,5 a 2 horas e constitui-se em alternativa viável ao uso de permutadores de calor e umidade em cirurgias prolongadas e em pacientes com complicações respiratórias.

Henriksson e col. (1997)<sup>17</sup> avaliaram durante 60 minutos a umidade e temperatura dos gases inalados em sistema circular com absorvedor de pequeno volume (1 L), com ou sem o uso do permutador de calor e umidade, com três diferentes fluxos de gases frescos (1, 2 ou 5 L.min<sup>-1</sup>), utilizando o ventilador Servo 900 (Siemens-Elmo, Suécia). Concluíram que nos grupos com fluxos de gases frescos menores ou iguais a 2 L.min<sup>-1</sup>, obteve-se, sem diferença significativa entre os grupos, gás inspirado com umidade absoluta de 21 a 23 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>, à temperatura de 26 a 27 °C e umidade relativa de 84% a 87%, o que os autores consideraram suficiente para evitar desidratação do trato respiratório. Os permutadores de calor e umidade, quando utilizados, aumentaram expressivamente a umidade absoluta (entre 28 a 30 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>) e a temperatura do gás inalado (média de 32 a 34 °C), independentemente do fluxo de gás fresco utilizado e já nos primeiros minutos do estudo.

Um fato a ser considerado para a obtenção de níveis de umidade relativamente baixos nos primeiros momentos estudados em nossa pesquisa é o fato de no início do procedimento anestésico ter-se utilizado fluxo maior de gases frescos (2 L.min<sup>-1</sup>) para que se pudesse preencher rapidamente todo o sistema e atingir, em menor tempo e com maior rapidez a concentração desejada do anestésico inalatório.

Bisinotto e col. (1999)<sup>20</sup> estudaram em cães os efeitos de alto fluxo de gás fresco (5 L.min<sup>-1</sup>) em sistema respiratório sem absorvedor de CO<sub>2</sub>, e baixo fluxo de gás fresco (1 L.min<sup>-1</sup>) em sistema circular com absorvedor de CO<sub>2</sub>, associados ou não ao permutador de calor e umidade, durante o período de 3 horas, em relação à temperatura e umidificação do gás inalado, e os efeitos sobre a mucosa da árvore traqueobrônquica, analisados por meio de microscopia eletrônica de varredura. Os autores observaram que o sistema respiratório sem absorvedor e com alto fluxo de gases frescos mostrou valores significativamente menores da umidade relativa (entre 37% a 39%) e absoluta (entre 8 a 9 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>) do que o grupo com baixo fluxo e absorvedor de CO<sub>2</sub>, quando a umidade relativa ficou ao redor de 75% a 79% e a umidade abso-



luta ao redor de 15 a 17 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>. Os autores não observaram diferença significativa entre os grupos em relação à temperatura do gás inalado, mesmo com a introdução no sistema respiratório do permutador de calor e umidade. Os grupos com permutador, independentemente do fluxo de gases empregados, apresentaram os maiores valores de umidade relativa (ao redor de 88% a 94%) e umidade absoluta (22 a 24 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>). Esses resultados refletiram-se no exame da mucosa traqueobrônquica, em que as maiores alterações do muco e dos cílios foram encontradas no grupo com alto fluxo de gases e sem o uso de permutador. Nos grupos nos quais houve a introdução do permutador, e independentemente do fluxo empregado, as alterações do sistema mucociliar foram menores, mas ainda com áreas indicativas de ocorrência de algum grau de desidratação. Os autores concluem que o permutador de calor e umidade atenua, mas não impede que ocorram alterações do sistema mucociliar da árvore traqueobrônquica.

Estudos têm recomendado umidade absoluta do gás inalado entre 20 e 30 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup> para reduzir o risco de desidratação do trato respiratório<sup>2,3,8,17,20,30</sup>.

O limite mínimo aceito de umidade absoluta durante ventilação prolongada é de 30 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup><sup>31</sup>, mas, em nossa opinião, o menor limite de umidificação durante a anestesia é difícil de determinar<sup>1</sup>, porque ele depende da duração da anestesia, das condições pulmonares prévias do paciente e do sistema respiratório empregado. Os estudos referentes à umidificação foram feitos especialmente em animais de laboratório<sup>8,32-35</sup>. Investigações no homem são limitadas pelo pequeno número de pacientes envolvidos em cada pesquisa e a ausência de informações sobre os pacientes envolvidos em cada estudo<sup>2,17</sup>. Novas informações são poucas sobre a função das vias aéreas superiores<sup>1</sup>, particularmente quando já existem alterações respiratórias prévias, e muito pouco se avançou sobre as técnicas de mensurações.

Na presente pesquisa, não houve diminuição significativa da temperatura esofágica durante o procedimento cirúrgico, com os pacientes mantendo-se em temperatura central ao redor de 36 °C. Acreditamos que a manutenção da temperatura central dos pacientes deveu-se à manutenção da temperatura da sala operação em torno de 24 °C, à montagem do sistema respiratório, no qual o fluxo de gases, antes de chegar ao paciente, passava três vezes pela cal sodada, fazendo com que o paciente recebesse fluxos de gases quentes e umidificados, e ao uso de fluxo baixo e mínimo de gases frescos.

Assim, o aquecimento e a umidificação dos gases inalados e a manutenção da temperatura da sala cirúrgica têm sido descritos como medidas importantes na prevenção da perda de calor e conseqüentemente da diminuição da temperatura corporal<sup>21,36,37</sup>.

Concluindo, no homem, nas condições experimentais empregadas, não houve diferença significativa da umidade e temperatura do gás inalado com baixo fluxo (1 L.min<sup>-1</sup>) ou fluxo mínimo (0,5 L.min<sup>-1</sup>) de gases frescos; os níveis de umidade e temperatura foram inicialmente adequados para evitar desidratação da mucosa da árvore traqueobrônquica e, a

partir de 90 minutos, alcançaram níveis próximos dos ideais, segundo a literatura.

## ***Inhaled Gases Humidification and Heating during Artificial Ventilation with Low Flow and Minimal Fresh Gases Flow***

Susane Bruder Silveira Gorayb, M.D.; José Reinaldo Cerqueira Braz, TSA, M.D.; Regina Helena Garcia Martins, M.D.; Norma Sueli Pinheiro Módolo, TSA, M.D.; Giane Nakamura, M.D.

### **INTRODUCTION**

Patients under general anesthesia breathe gases with low humidity content and at low temperatures, sometimes for prolonged periods of time. When tracheal tube is used, nasal, pharyngeal, laryngeal and part of tracheal functions are abolished and gases humidification and heating have to be performed in lower airways. If inhaled gases humidification and heating are inadequate, there will be functional airway mucosa damage with changes in ciliary movements and increased mucous viscosity promoting secretions hardening and incrustations which interfere with tracheal ability to heat and humidify inhaled gases and predisposing to cork formation which obstructs airways, especially smaller ones, and tracheal tubes<sup>1,2</sup> causing atelectasis and pulmonary complications<sup>3</sup>.

So, during artificial ventilation under tracheal intubation, inspired gases heating and humidification are critical to ensure airways integrity, preserve muco-ciliary function and improve gaseous changes<sup>4</sup>.

Humidity may be defined in several ways: maximum humidity, which is the maximum amount of water vapor existing in the gaseous phase of a certain atmosphere at a certain temperature; absolute humidity, which is water vapor mass present in a certain gas volume, being usually expressed in mg of water per liter of gas; and relative humidity, represented by the ratio between water vapor mass contained in a certain gas volume at a certain temperature and maximum water vapor mass that this gas volume could contain at the same temperature. To help humidity calculations, there are tables proposed to calculate absolute humidity as a function of temperature<sup>5</sup>.

There is still no consensus on optimal inhaled gases heating and humidification levels, but it is necessary to determine inspired gases heating and humidification limits<sup>6,7</sup>. In theory, gas temperature should be close to central temperature, which is 37 °C, and relative humidity should not go beyond 100%, to prevent respiratory tree mucosa dehydration and promote maximum ciliary transport velocity<sup>3</sup>.

In a Brazilian experimental study with dogs submitted to tracheal intubation and mechanical ventilation for 3 hours, the effects of absolute inspired gases heating and humidification

were observed according to histological tracheobronchial tree mucosa epithelial changes at light microscopy. Authors have concluded that absolute inspired gases heating and humidification should not be higher than 36 °C and 36 mg of water per liter of inspired gas, respectively, and should not be lower than 27 °C or present absolute humidity below 23 mg of water.L<sup>-1</sup> 8.

The interest in low fresh gases flow during general inhalational anesthesia has increased in recent years for its major advantages, such as low inhalational anesthetic consumption, more effective inspiratory gases humidification and heating and major environmental pollution decrease<sup>9-11</sup>. However, low fresh gases flow system has disadvantages, such as the need for anesthesiologists' better understanding, attention and care, the impossibility of rapid changes in inspired inhalational anesthetic concentration, higher risk for hypercarbia by faster exhaustion of the carbon dioxide absorption system, possible build up of undesirable gases, such as CO<sub>2</sub>, acetone, methane, in addition to toxic metabolites of anesthetic agents, argon and nitrogen<sup>12,13</sup>, requiring periodic "washing" of the system with high fresh gases flow for some minutes.

There are several and different opinions in the literature about proposed gases flow to define baseline flow, minimum flow and low flow. Baker (1994)<sup>12</sup> has suggested a modification on gas flows based on Simionescu's classification (1986)<sup>14</sup> (Table I).

Table I - Fresh Gases Flow According to Baker's Proposition (1994)<sup>12</sup>

Author	Gas Flow
Metabolic Baseline Flow	250 mL.min <sup>-1</sup>
Minimum Flow	250 - 500 mL.min <sup>-1</sup>
Low Flow	500 - 1000 mL.min <sup>-1</sup>
Medium Flow	1 - 2 L.min <sup>-1</sup>
Intermediate Flow	2 - 4 L.min <sup>-1</sup>
High Flow	> 4 L.min <sup>-1</sup>

Decreased fresh gases flow leads to better use of heat and humidity generated in the absorber's reservoir, by CO<sub>2</sub> neutralization reaction of the mixture exhaled by soda lime, which is exothermal and leads to water formation<sup>15,16</sup>. Several authors have used low fresh gases flow with good results, but with variable efficacy in terms of reusing heat and humidity<sup>2,16-19</sup>. Differences found may be explained by changes in respiratory systems assembly, by different methods used to measure humidity present in inspired gases and by different flows used in the low fresh gases flow technique<sup>2,18</sup>. Among anesthesia machines to administer inhalational anesthetics to patients under general inhalational anesthesia, Dräger's Cicero (Germany) has special respiratory system characteristics. It has been projected for fresh gases flow to cross soda lime three times before being administered to patients, in addition to the presence of a plate to heat expired gases to pre-

vent water condensation in the system. These characteristics may be highly efficient to improve inhaled gases heating and humidification levels.

This study aimed at evaluating the effect of the respiratory circle system with CO<sub>2</sub> absorber of the Cicero's anesthesia machine, using low fresh gases flow (1 L.min<sup>-1</sup>) or minimum flow (0.5 L.min<sup>-1</sup>), as to inhaled gases heating and humidification ability.

## METHODS

After the local Research Ethics Committee approval and their informed consent, participated in this study 24 adult patients of both genders, aged 18 years or above and less than 65 years, physical status ASA I, submitted to abdominal surgery lasting 2 hours or more, under general anesthesia and mechanical ventilation.

Patients were randomly distributed in two groups of 12 patients, differentiated by the flow administered during ventilation, as follows:

Group LF: low fresh gases flow group receiving oxygen (0.5 L.min<sup>-1</sup>) and nitrous oxide (0.5 L.min<sup>-1</sup>);

Group MF: minimum fresh gases flow receiving oxygen only (0.5 L.min<sup>-1</sup>).

After 15 mg oral midazolam 60 minutes before, anesthesia was induced with sufentanil (0.7 µg.kg<sup>-1</sup>), propofol (2 mg.kg<sup>-1</sup>) and cisatracurium (150 µg.kg<sup>-1</sup>). After tracheal intubation, anesthesia was maintained with isoflurane in maximum concentration of 0.8%, that is, minimum alveolar concentration, with fresh gases flow according to the studied group in a closed system with CO<sub>2</sub> absorber, using Dräger's Cicero anesthesia machine and continuous sufentanil (0.01 - 0.005 µg.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) and cisatracurium (2 µg.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup>) infusion through two-channel infusion pump. Nitrous oxide, oxygen and CO<sub>2</sub> inspired and expired fractions, tidal volume and respiratory rate were continuously monitored by gases and halogenate collector located between the anesthetic system and the tracheal tube. For both groups, tidal volume was 8 ml.kg<sup>-1</sup> and respiratory rate was adjusted to maintain P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub> between 30 and 35 mmHg.

Monitoring also consisted of ECG (D<sub>II</sub> and V<sub>5</sub> lead), pulse oximetry (SpO<sub>2</sub>), capnometry (P<sub>ET</sub>CO<sub>2</sub>), non-invasive blood pressure, neuromuscular block by TOF stimulation, always looking for the lack of response or minimum response to stimulations, and central temperature by a sensor placed in the lower esophagus.

Temperature and relative room air humidity readings were obtained from Gulton do Brasil Higrotermo 95 electronic digital thermo-hygrometer, through a sensor placed close to patients during studied moments. Inspiratory system gases temperature and relative humidity readings were obtained from the same thermo-hygrometer with the sensor initially connected by a T piece to the respiratory system outlet close to the workstation and then between the Y piece of the respi-

ratory system and the tracheal tube during studied moments. The relative humidity sensor of this thermo-hygrometer is a Parametrics® capacitive polymer film. Sensor's dielectric constant changes with changes in relative humidity expressed on a digital display, together with temperature. The following formula was used to calculate absolute humidity<sup>5</sup>:

$$DA = \frac{DS \times F}{100}$$

Where:

DA = absolute inspired air humidity ( $\text{mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ );

DS = relative air humidity in saturation conditions ( $\text{mgH}_2\text{O}\cdot\text{L}^{-1}$ ), obtained from specific table<sup>5</sup> and using inspired gas temperature ( $^{\circ}\text{C}$ );

F = relative inspired gas humidity (%).

Cicero anesthesia machine respiratory system receives additional heating from a heated plate located close to the expiratory part of the system, lateral to the ventilator plunger. So, gases expired by patients initially go through the expiratory valve which, during this phase is opened. Then, they cross the heated plate which remains heated and humidified without water condensation because there is no cold surface within the respiratory system and cross soda lime for the first time toward the fresh gas reservoir (balloon). Next, expired gas and additional fresh gases flow from the canister are "pulled" by plunger's movement to fill the ventilator, after having passed through soda lime (expired gas for the second time and fresh gases flow for the first time). With the closing of expiratory intermittent positive pressure ventilation valves and the opening of the inspiratory valve, ventilator's plunger movement sends the gaseous mixture to patient, after crossing soda lime one more time (expired gas for the third time). Soda lime pills have been replaced before each experiment. Soda lime canister capacity is 1.5 L. Two corrugated 1.20 cm length silicone tubes were used in the respiratory system and were also replaced before each experiment. No filters or heat and humidity exchangers were used in the respiratory system.

To determine plate and soda lime canister temperature, Mallinckrodt's Thermistor 400, mod. 6150 two-channel thermometer was used together with Mallinckrodt's skin thermometer. Temperature of the plate located close to the internal respiratory system was installed in one channel to which a temperature sensor was coupled. The second channel recorded soda lime temperature through a sensor fixed on the internal canister wall, in its lower part, where the temperature was the highest.

Humidity and temperature attributes were evaluated at moments: M0 (control) - immediately after ventilatory system installation, according to the studied group, and obtained 10 minutes after ventilatory system installation with  $2\text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$  oxygen necessary to totally filling respiratory system with gases and anesthetics, and M30, M60, M90 and M120, respectively 30, 60, 90 and 120 minutes after ventilation system installation, according to the group.

## Statistical Analysis

Student's *t* test was used for demographics and Fisher's Exact test was used for gender distribution. ANOVA, followed by Tukey's multiple comparisons test were used for variables with normal distribution and variance homogeneity. Mann-Whitney test was used for non-parametric distribution to compare values of both groups, and Friedman's test was used to compare values within the same group. Dispersion diagram was also used for correlation analysis between operating room temperature and inhaled gas temperature. Significance levels below 0.005 were considered significant.

Attributes within normal assumptions are expressed in mean and standard deviation. Non-parametric attributes are expressed in median and 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> quartiles; 25% of observed values are within the 1<sup>st</sup> quartile, while 75% of observed values are in the 3<sup>rd</sup> quartile.

## RESULTS

Both groups were homogeneous in demographics data (Table II). Gender distribution was also homogeneous between groups with predominance of females (Table II).

Table II - Demographics Data (Mean  $\pm$  SD), Gender Distribution and p Values for Studied Groups

Attributes	Groups		p Value
	LF	MF	
Age (years)	41.4 $\pm$ 11.9	35.2 $\pm$ 11.6	0.20
Weight (kg)	64.7 $\pm$ 9.0	68.3 $\pm$ 15.8	0.50
Height (m)	1.61 $\pm$ 0.08	1.64 $\pm$ 0.08	0.31
Gender (M/F)	4/8	3/9	> 0.50

Operating room temperature and absolute and relative humidity were not statistically different between groups and among studied moments ( $p > 0.05$ ) (Table III).

Esophageal temperature was not statistically different between groups and among moments ( $p > 0.05$ ) (Table IV). Soda lime canister temperature, however, was significantly higher in moment M90 for group MF as compared to group LF ( $p < 0.05$ ), with significant increase along time for both groups ( $p < 0.05$ ) (Table IV). Temperature of the plate close to the expiratory system was not statistically different between groups ( $p > 0.05$ ), but has increased along time for both groups ( $p < 0.05$ ).

Gas temperature in the inspiratory branch at the anesthesia machine outlet and close to the tracheal tube was not significantly different between groups ( $p > 0.05$ ), but has significantly increased along time for both groups ( $p < 0.05$ ) (Figures 1 and 2 respectively).

INHALED GASES HUMIDIFICATION AND HEATING DURING ARTIFICIAL VENTILATION  
WITH LOW FLOW AND MINIMAL FRESH GASES FLOW

Table III - Operating Room Temperature, Relative Humidity and Absolute Humidity (Mean ± SD)

Attributes	Groups	Moments (minutes)				
		M <sub>0</sub>	M <sub>30</sub>	M <sub>60</sub>	M <sub>90</sub>	M <sub>120</sub>
Temperature (°C)	LF	25.1 ± 1	25.4 ± 1.7	25.1 ± 1.5	25.2 ± 1.6	25.2 ± 1.6
	MF	24.3 ± 1.8	24.9 ± 1.6	25 ± 1.8	24.8 ± 1.6	24.9 ± 1.5
Relative Humidity (%)	LF	54.1 ± 7.3	52.8 ± 6.8	52 ± 8.3	55 ± 10	54.1 ± 8.6
	MF	57.4 ± 9.2	59.9 ± 10.3	59.1 ± 10	58 ± 9.4	60.7 ± 15.1
Absolute Humidity (mgH <sub>2</sub> O.L <sup>-1</sup> )	LF	12.8 ± 2	12.2 ± 1.6	11.9 ± 2.1	12.6 ± 2.5	12.5 ± 2.1
	MF	12.7 ± 2.7	13.7 ± 2.6	13.5 ± 2.6	13.1 ± 2.5	13.3 ± 2.5

There were no significant differences between groups and among moments (p > 0.05)

Table IV - Esophageal Temperature, Soda Lime Canister Temperature and Temperature of Plate Close to Expiratory System (Median, 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> Quartiles)

Attributes	Groups	Moments (minutes)				
		M <sub>0</sub>	M <sub>30</sub>	M <sub>60</sub>	M <sub>90</sub>	M <sub>120</sub>
Esophageal Temperature (°C)	LF	36.2 (36.0-36.6)	36.2 (35.7-36.4)	35.9 (35.6-36.2)	36.0 (35.6-36.2)	35.9 (35.6-36.2)
	MF	36.0 (35.5-36.6)	35.9 (35.8-36.6)	36.1 (35.8-36.6)	36.2 (35.8-36.5)	36.1 (35.8-36.5)
Soda Lime Canister Temperature (°C)	LF	25.7 (24.5-26.2)	27.3* (26.5-29.5)	30.5* (28.9-32.6)	31.6* (30.7-33.0)	32.3* (31.6-33.2)
	MF	24.0 (23.2-26.7)	27.7* (24.6-29.4)	31.9* (29.9-32.8)	33.3#* (31.9-33.8)	33.6* (32.6-34.6)
Temperature of Plate Close to Expiratory System (°C)	LF	34.0 (32.9-35.1)	35.2* (34.4-36.2)	35.7* (35.1-37.4)	36.6* (36.1-38.2)	37* (36.8-38.6)
	MF	34.3 (29.6-35.8)	35.0* (33.3-36.5)	35.8* (34.9-37.0)	36.4* (35.6-37.7)	36.9* (36.4-38.5)

# p < 0.05: MF > LF in M<sub>90</sub>

\* p < 0.05: LF and MF: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < M<sub>60</sub> < M<sub>90</sub> < M<sub>120</sub> as compared to canister temperature

\* p < 0.05: LF and MF: M<sub>0</sub> < (M<sub>30</sub> = M<sub>60</sub>) < (M<sub>90</sub> = M<sub>120</sub>) as compared to temperature of plate close to the expiratory system

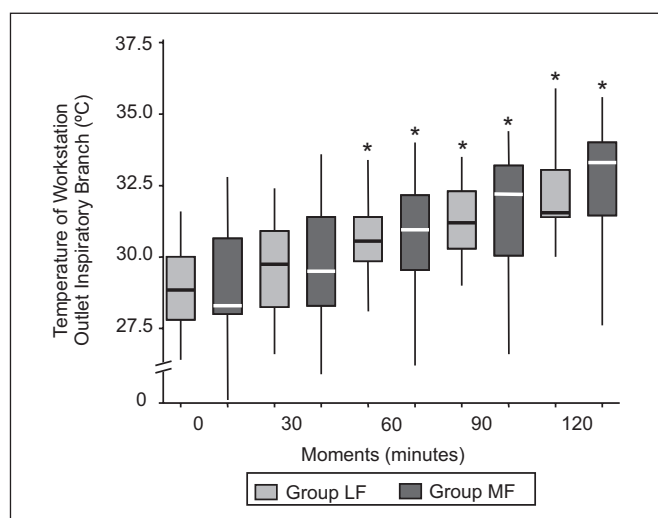


Figure 1 - Minimum, 1<sup>st</sup> Quartile, Median, 3<sup>rd</sup> Quartile and Maximum Values Obtained in Each Moment for Temperature in Anesthesia Machine Outlet Inspiratory Branch  
\* p < 0.05 in LF and MF: (M<sub>0</sub> = M<sub>30</sub>) < M<sub>60</sub> < M<sub>90</sub> < M<sub>120</sub>

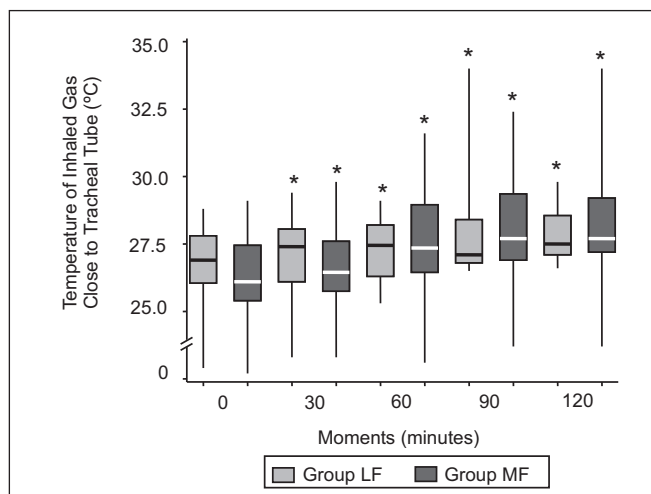


Figure 2 - Minimum, 1<sup>st</sup> Quartile, Median, 3<sup>rd</sup> Quartile and Maximum Values Obtained in Each Moment for Temperature of Inhaled Gas Close to Tracheal Tube  
\* p < 0.05 in LF: M<sub>0</sub> < (M<sub>30</sub> = M<sub>60</sub> = M<sub>90</sub>) < M<sub>120</sub>  
\* p < 0.05 in MF: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < (M<sub>60</sub> = M<sub>90</sub> = M<sub>120</sub>)

Dispersion diagram for correlation analysis between operating room temperature and inhaled gas temperature in groups LF and MF is shown in figures 3 and 4 respectively. There has been significant correlation between both temperatures for

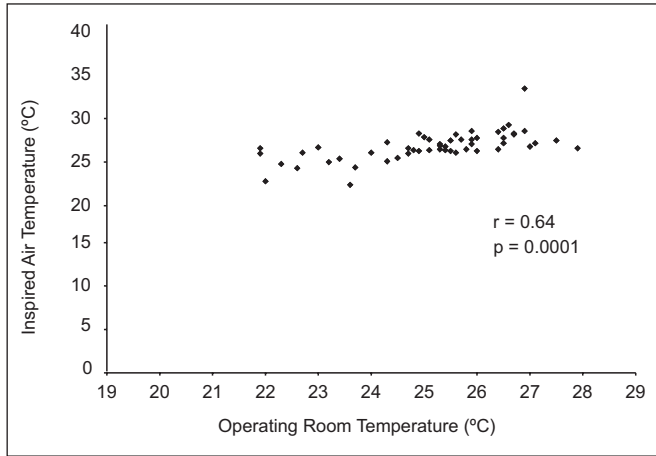


Figure 3 - Dispersion Diagram for Room Temperature and Temperature of Inhaled Gas Close to Tracheal Tube in Low Flow Group

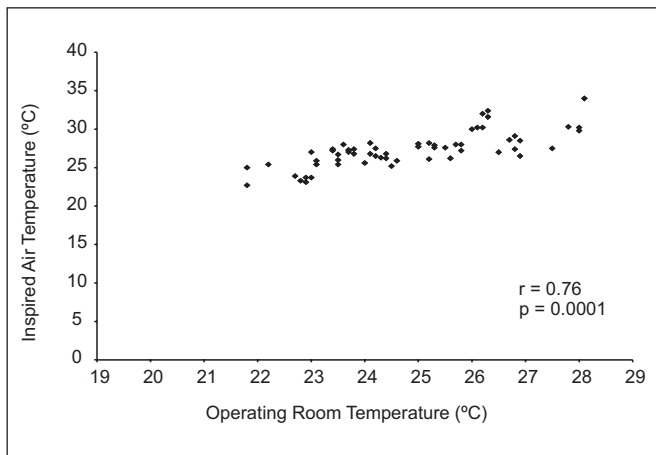


Figure 4 - Dispersion Diagram for Room Temperature and Temperature of Inhaled Gas Close to Tracheal Tube in Minimum Flow Group

both groups ( $p < 0.001$ ).

Relative humidity in the inspiratory branch of the anesthesia machine outlet and close to the tracheal tube was not significantly different between groups ( $p > 0.05$ ), but has increased along time for both groups ( $p < 0.05$ ) (Figures 5 and 6 respectively).

Absolute humidity of the inspiratory branch of the anesthesia machine outlet and close to the tracheal tube was not significantly different between groups ( $p > 0.05$ ), but has increased

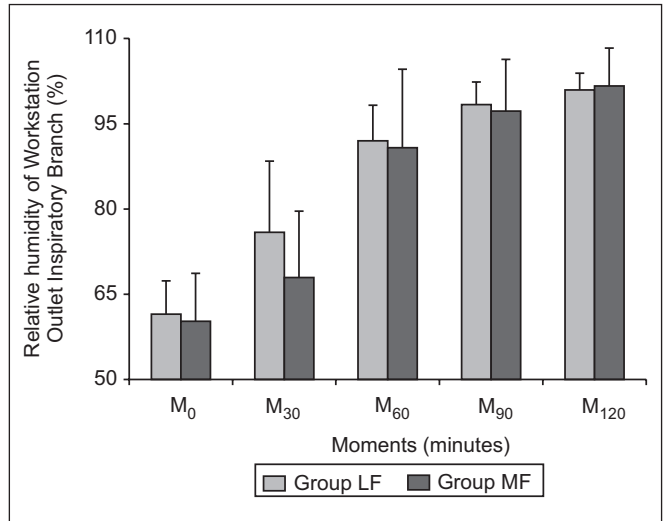


Figure 5 - Minimum, 1<sup>st</sup> Quartile, Median, 3<sup>rd</sup> Quartile and Maximum Values Obtained in Each Moment for Relative Humidity in Anesthesia Machine Outlet Inspiratory Branch  
\*  $p < 0.05$   
Group LF:  $M_0 < M_{30} < M_{60} < M_{120}$   
Group MF:  $(M_0 = M_{30}) < M_{60} < M_{120}$   
 $M_{90}$  values were intermediate to  $M_{60}$  and  $M_{120}$  values in both groups

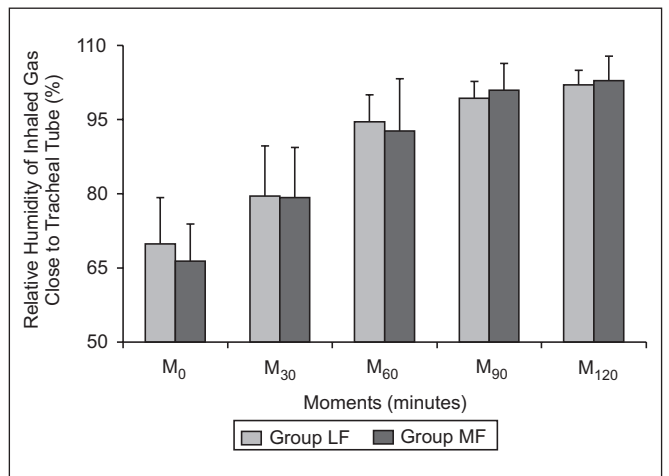


Figure 6 - Minimum, 1<sup>st</sup> Quartile, Median, 3<sup>rd</sup> Quartile and Maximum Values Obtained in Each Moment for Relative Humidity of Inhaled Gas Close to Tracheal Tube  
\*  $p < 0.05$  in LF and MF:  $M_0 < M_{30} < M_{60} < M_{120}$   
 $M_{90}$  values were intermediate to  $M_{60}$  and  $M_{120}$  values in both groups

INHALED GASES HUMIDIFICATION AND HEATING DURING ARTIFICIAL VENTILATION WITH LOW FLOW AND MINIMAL FRESH GASES FLOW

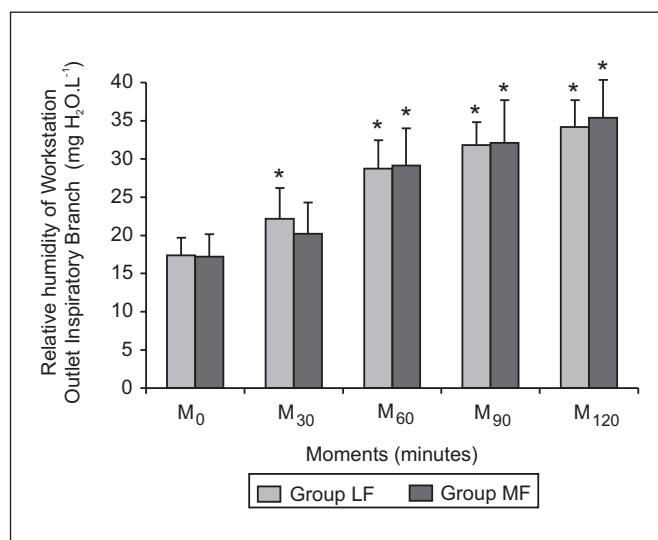


Figure 7 - Minimum, 1<sup>st</sup> Quartile, Median, 3<sup>rd</sup> Quartile and Maximum Values Obtained in Each Moment for Absolute Humidity in Anesthesia Machine Outlet Inspiratory Branch

\* p < 0.05

Group LF: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < (M<sub>60</sub> = M<sub>90</sub> = M<sub>120</sub>)

Group MF: (M<sub>0</sub> = M<sub>30</sub>) < M<sub>60</sub> < M<sub>120</sub>

T<sub>90</sub> values are intermediate to M<sub>90</sub> and M<sub>120</sub> values

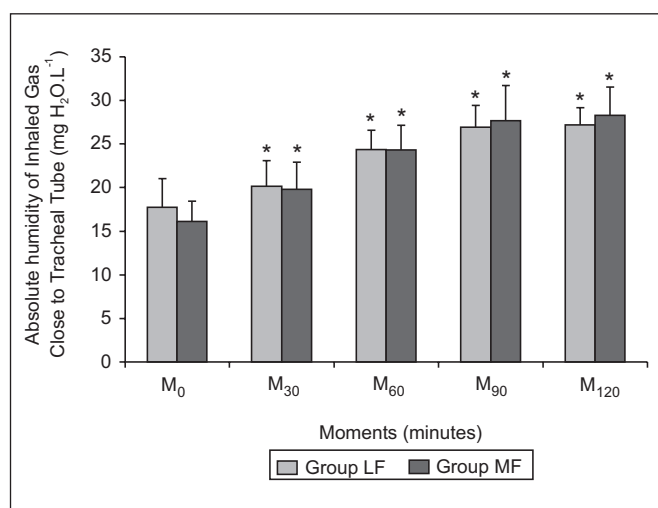


Figure 8 - Minimum, 1<sup>st</sup> Quartile, Median, 3<sup>rd</sup> Quartile and Maximum Values Obtained in Each Moment for Absolute Humidity of Inhaled Gas Close to Tracheal Tube

\* p < 0.05 in LF and MF: M<sub>0</sub> < M<sub>30</sub> < (M<sub>60</sub> = M<sub>90</sub> = M<sub>120</sub>)

along time for both groups (p < 0.05) (Figures 7 and 8 respectively).

## DISCUSSION

Inhaled gases temperature at the anesthesia machine was adequate for both groups since the beginning of the experiment and has increased during the experiment (Figure 1). This result was already expected, since Dräger's Cicero de-

vice has features to improve inhaled gas heating and humidification. According to the manufacturer, its heating plate coupled to the respiratory system aims especially at preventing expired air water condensation when it cools within the respiratory system, which could interfere with the adequate operation of valves and ventilator. But this heating plate also helps maintaining gas temperature in the respiratory system at adequate levels. In our study, plate temperature has not changed between groups, but has gradually increased along moments (Table IV).

Other equally or more important features to maintain inhaled gas temperature were also incorporated to Cicero, such as reutilization of heat and humidity from soda lime neutralization reaction, because the expired gas passes 3 times through soda lime canister before getting to patients.

It has been shown that the lower the fresh gases flow, the higher the temperature in the absorber<sup>18</sup>. So, the authors used 0.5 L.min<sup>-1</sup> or 1 L.min<sup>-1</sup> flows and have observed that soda lime temperature has reached a mean temperature of 39 °C after 30 to 40 minutes. The difference in temperature observed in that study, as well as in our study, may be credited to different devices and methods used to measure temperature. Torres et al. (1997)<sup>18</sup> have measured canister temperature at the external surface with an infrared thermometer. This method allows temperature screening in a wider surface, being the reading captured where the temperature is the highest. Our study has used simple electric thermometer with the sensor fixed to the lower part external of soda lime canister surface, where the temperature has always been the highest.

In an experimental study with dogs under low fresh gases flow (1 L.min<sup>-1</sup>) and two canisters with 1800 g soda lime each, it has been observed that external temperature at the highest temperature site, went from 23 °C to a maximum temperature of 29 °C after three hours, using electric thermometer to measure temperature<sup>20</sup>. In the circle system used, fresh gases inlet was close to the inspiratory branch and there has been excess gas escape in the system before all exhaled gas went through soda lime, which certainly has contributed to decrease the intensity of soda lime neutralization reaction. Some authors<sup>22-24</sup> have obtained better inhaled gas heating results with changes in anesthesia systems assembly and decreased gas flows. A better use of heat and humidity was also observed when fresh gas flow inlet was located before soda lime canister<sup>18</sup>.

The conclusion was that fresh gases from hospital gases canisters (at room temperature close to 20 °C), using a valve system without CO<sub>2</sub> absorber, or those with CO<sub>2</sub> absorber where soda lime gases are mixed to additional fresh gases flow, reach the inspiratory branch at a temperature close to room temperature, if no heating system or thermal insulation is used<sup>15,19</sup>.

A different way to make inspired gases heat and humidity more efficient is the use of small soda lime canisters. Our study has used a large 1.5 liter canister. An experimental study with two types of canisters has observed that there is more heat and humidity release with the small soda lime can-

ister and, as a consequence, better use of inspired gases heat and humidity<sup>24</sup>. The disadvantage is the need for frequent soda lime replacement because it is easily saturated.

Gases temperature at the anesthesia machine outlet was similar to that of soda lime at 60 minutes of study. These results have shown that gas flow has incorporated heat produced by soda lime chemical reaction with CO<sub>2</sub>.

Other authors'<sup>18</sup> results, however, were different from ours. Using low fresh gases flows (1 L.min<sup>-1</sup> and 0.5 L.min<sup>-1</sup>) in respiratory system with CO<sub>2</sub> absorber, they have observed much higher soda lime canister temperatures, around 40 °C, but with inhaled gas temperatures of approximately 19 °C to 22 °C. According to the authors, this might have been a consequence of heat loss to the environment, the temperature of which has been maintained in approximately 20.5 °C, or even to other parts of the respiratory system, indicating poor respiratory system thermal insulation.

In our study, inhaled gas temperature close to the tracheal tube was not significantly different between groups, but there has been major inhaled gas temperature decrease as compared to gas temperature at anesthesia machine outlet, with a loss of approximately 4 °C in group LF and 5 °C in the group MF (Figure 2).

It should be highlighted that most respiratory systems corrugated tubes are made of silicone, poly vinyl chloride (PVC) or other poorly thermal insulated materials.

There has been a significant correlation in both groups between inhaled gas temperature and room temperature (Figures 3 and 4). These results are in line with other authors<sup>15,18,20-22,25</sup>. Authors<sup>18</sup> have also observed that this correlation is independent of additional gas flow passing or not through soda lime before being incorporated to the inspiratory branch. In this study, authors have concluded that heat generated in soda lime has not been totally incorporated to inspired gas, but has been partially transferred to the environment, which is normally kept at a lower temperature. This heat transfer was only absent when the authors have thermally insulated the corrugated tubes with aluminum foil and have obtained higher inhaled gas temperatures.

It has to be highlighted in our study that higher inhaled gas temperatures were only observed 30 to 60 minutes after the beginning of the study, when mean inhaled gas temperature has reached 27.4 °C in group LF and 27.3 °C in group MF. A similar result was also observed by Kleeman (1994)<sup>2</sup>, with adequate inhaled gas temperature obtained only when the author used 0.6 L.min<sup>-1</sup> fresh gases flow after 90 minutes. Differently from temperature, relative gas humidity at anesthesia machine outlet and close to the tracheal tube was similar for both groups (Figures 5 and 6 respectively).

Most studies preconize high relative inspired gas humidity values (close to 100%) to prevent respiratory epithelium and muco-ciliary activity changes<sup>26,27</sup>. Our research has obtained values close to this only 60 minutes after beginning of experiment.

Commercially available anesthetic gases are intentionally dry to prevent respiratory system valves obstruction. These gases, however, decrease the amount of humidity available

to patients. Anesthesia machine humidity source becomes dependent on the water incorporated to soda lime granules, on exothermal soda lime neutralization reaction producing water vapor, on wet and heated gases exhaled by patients in the respiratory system, on the previous use of the ventilator system which returns water from condensation built up during its use, on the use of low and minimum gases flow during anesthesia and on the use of heat and humidity exchangers<sup>3,18,19,28</sup>.

Aldrete et al. (1981)<sup>28</sup> have used valve respiratory system with CO<sub>2</sub> absorber and fresh gas flows of 5; 2; 0.5 and 0.3 L.min<sup>-1</sup> in patients submitted to abdominal surgeries and have shown that relative humidity in the inspiratory branch has gradually increased with fresh gases flow decrease, reaching 98% with 0.3 L.min<sup>-1</sup> flow.

Conversely, absolute humidity at anesthesia machine outlet has always remained above 20 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>, for both groups, except for the control moment, reaching values of approximately 34 to 35 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup> 120 minutes after (Figure 7). However, absolute inhaled gas humidity close to the tracheal tube has shown lower values but still above 20 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>, except for the control moment, and has reached even higher values as from 60 minutes, reaching a mean of 27 to 28 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup> at the end of the study (Figure 8).

So, in our study and differently from what has been observed with relative humidity, there have been major differences between absolute humidity at anesthesia machine outlet and that of the inhaled gas, certainly by the major influence of room temperature over inhaled gas temperature. Kleemann (1990)<sup>29</sup>, in an experimental study with swine under anesthesia, has ventilated animals for 10 hours using the Dräger AV1 (Germany) device with 0.5 and 6 L.min<sup>-1</sup> oxygen (40%) and nitrous oxide (60%). At the end of the experiment, the author has removed the tracheobronchic trees for biopsy under electronic screening microscopy. In the control group, the tracheobronchic tree was removed 20 minutes after anesthetic induction. In the group receiving high fresh gases flow (6 L.min<sup>-1</sup>), mucus droplets have shown important dehydration-related changes and cilia have formed clusters with several ciliary rarefaction areas, with epithelial cells exposure, particularly more frequent in tracheal bifurcation and major bronchi areas. In the minimum 0.5 L.min<sup>-1</sup> flow group, ciliary epithelium was relatively unchanged with no significant ciliary and mucous changes as compared to the control group.

The same author has carried out a clinical trial<sup>29</sup> to determine inhaled gas temperature and humidity during anesthesia, using Dräger's AV1 device (Germany) and low 0.6 L.min<sup>-1</sup> fresh gases flow in group I, and using Dräger's Sulla 800 V device (Germany) with 1.5, 3 and 6 L.min<sup>-1</sup> fresh gases flow in groups II, III and IV, respectively. Results have shown that medium (1.5 L.min<sup>-1</sup>) and high (3 and 6 L.min<sup>-1</sup>) flows determine inadequate inhaled gas levels, with maximum temperature of 24.5 °C and maximum absolute humidity of 16 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>, while minimum gas flow (0.6 L.min<sup>-1</sup>) determines adequate inhaled gas temperature (31 °C) and acceptable absolute humidity (21.3 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>) levels 1.5 to 2 hours later and is a feasible

alternative to heat and humidity exchangers in prolonged surgeries and in patients with respiratory complications. Henriksson et al. (1997)<sup>17</sup> have evaluated for 60 minutes humidity and temperature of inhaled gases in circle system with low volume absorber (1 L), with and without heat and humidity exchangers, with three different fresh gases flows (1, 2 or 5 L.min<sup>-1</sup>), using the Servo 900 ventilator (Siemens - Elema, Sweden). Their conclusion was that in groups with fresh gases flows equal to or lower than 2 L.min<sup>-1</sup>, absolute inspired gas humidity of 21 to 23 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup> was obtained without statistical differences between groups, at a temperature of 26 to 27 °C and 84% to 87% relative humidity, which the authors have considered enough to prevent respiratory tract dehydration. When heat and humidity exchangers, were used, significantly increased absolute humidity (between 28 to 30 mm H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>) and inhaled gas temperature (mean of 32 to 34 °C), regardless of the fresh gas used and already in the first minutes of the study.

Something to be considered for the attaining of relatively low humidity levels in the first moments of our study, is the fact that higher fresh gases flows (2 L.min<sup>-1</sup>) were used in the beginning of the procedure to rapidly fill the whole system and reach desired inhalational anesthetic concentration in a shorter time.

Bisinotto et al. (1999)<sup>20</sup> have studied in dogs the effects of high fresh gases flows (5 L.min<sup>-1</sup>) with respiratory system without CO<sub>2</sub> absorber, and of low fresh gases flow (1 L.min<sup>-1</sup>) in circle system with CO<sub>2</sub> absorber, associated or not to heat and humidity exchangers, during 3 hours, and have evaluated inhaled gases temperature and humidity and the effects on the tracheobronchic tree, analyzed by screening electronic microscopy. Authors have observed that the respiratory system without CO<sub>2</sub> absorber and with high fresh gases flow has shown significantly lower relative (between 37% and 39%) and absolute (between 8 and 9 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>) humidity values as compared to the group with low flow and CO<sub>2</sub> absorber, where relative humidity has remained in approximately 75% to 79% and absolute humidity in approximately 15 to 17 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>. Authors have not observed significant differences between groups in inhaled gas temperature, even with the introduction of the heat and humidity exchanger. Regardless of gases flows used, groups with the exchanger had higher relative humidity (around 88% to 94%) and absolute humidity (22 to 24 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup>) values. These results were reflected in tracheobronchial tree mucosa exams, in which major mucous and ciliary changes were seen in the group with high flow and without exchanger. In the exchanger groups, regardless of the flows, there were minor changes in the muco-ciliary system, but still with areas indicating some degree of dehydration. Authors have concluded that heat and humidity exchanger attenuates, but does not prevent muco-ciliary changes in the tracheobronchial tree.

Studies have recommended absolute inhaled gas humidity between 20 and 30 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup> to decrease the risk for respiratory tract dehydration<sup>2,3,8,17,20,30</sup>.

Minimum absolute humidity limit accepted during prolonged ventilation is 30 mg H<sub>2</sub>O.L<sup>-1</sup><sup>31</sup>, but, in our opinion, it is difficult

to determine the lowest humidification limit during anesthesia<sup>1</sup> because it depends on anesthesia duration, previous pulmonary conditions and the respiratory system used. Humidification studies were primarily performed with animals<sup>8,32-35</sup>. In men, investigations are limited by the small number of patients involved and the lack of information about patients involved in each study<sup>2,17</sup>. New information about upper airways is scarce<sup>1</sup>, especially when there are already previous respiratory changes and little have we advanced in measurement techniques.

There have not been, in our study, significant esophageal temperature changes during surgery, with patients' central temperature remaining around 36 °C. We believe that patients' central temperature maintenance was due to operating room temperature maintenance around 24 °C, to respiratory system assembly, in which gases went three times through soda lime before reaching patients, thus supplying patients with heated and humidified gases, and to the use of low and minimum fresh gases flows.

So, inhaled gases heating and humidification and operating room temperature maintenance have been described as important measures to prevent heat loss and, as a consequence, body temperature decrease<sup>21,36,37</sup>.

In conclusion; in men and under our experimental conditions, there have been no significant differences in humidity and temperature of inhaled low (1 L.min<sup>-1</sup>) or minimum (0.5 L.min<sup>-1</sup>) fresh gases flow; humidity and temperature levels were initially adequate to prevent tracheobronchial tree mucosa dehydration and, as from 90 minutes, they were close to optimal levels, according to the literature.

## REFERÊNCIAS - REFERENCES

1. Williams R, Rankin N, Smith T et al - Relationship between the humidity and temperature of inspired gas the function of the airway mucosa. *Crit Care Med*, 1996;24:1920-1929.
2. Kleemann PP - Humidity of anaesthetic gases with respect to low flow anaesthesia. *Anaesth Intensive Care*, 1994;22:396-408.
3. Chalon J, Ali M, Ramanathan S et al - The humidification of anaesthetic gases. Its importance and control. *Can Anaesth Soc J*, 1979;26:361-366.
4. Branson RD, Chatburn RL - Humidification of inspired gases during mechanical ventilation. *Respir Care*, 1993;38:461-468.
5. Tubelis A, Nascimento FJL - Umidade do Ar, em: *Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras*. São Paulo, Distribuidora Brasil, 1980;94-127.
6. King M, Tomkiewiaz RP, Boyd WA - Mucociliary clearance and epithelial potential difference in dogs mechanically ventilated with air humidified by heated hot water and heat and moisture exchange devices. *J Aerosol Med*, 1995;8:66-84.
7. Brock-Utne JG - Humidification in pediatric anaesthesia. *Paediatr Anaesth*, 2000;10:117-119.
8. Martins RHG, Braz JRC, Defaveri J et al - Estudo da umidificação e do aquecimento dos gases durante a ventilação mecânica no cão. *Rev Bras Otorrinolaringol*, 1996;62:206-218.
9. Möllhoff T, Burgard G, Prien T - Low-flow and minimal-flow anaesthesia using the laryngeal mask airway. *Eur J Anaesthesiol*, 1996;13:456-462.



10. Baxter AD - Low and minimal flow inhalational anaesthesia. *Can J Anaesth*, 1977;44:643-653.
11. Couto JMS, Aldrete JA - Fluxos de gases empregados em anestesia. *Rev Bras Anesthesiol*, 1988;38:445-450.
12. Baker AB - Low-flow and closed circuits. *Anaesth Intensive Care*, 1994;22:341-342.
13. Dorsch JA, Dorsch SE - Anesthesia Ventilators, em: *Understanding Anesthesia Equipment*. 4<sup>th</sup> Ed, Baltimore, Williams & Wilkins, 1999;309-353.
14. Simionescu R - Safety of low flow anaesthesia. *Circular*, 1986;3:7-9.
15. Dorsch JA, Dorsch SE - The Circle System, em: *Understanding Anesthesia Equipment*. 4<sup>th</sup> Ed, Baltimore, Williams & Wilkins, 1999;229-269.
16. Torres MLA, Mathias RS - Aparelho de Anestesia: Componentes e Normas Técnicas, em: Ortenzi AV, Tardelli MA - *Anestesiologia SAESP*, 5<sup>a</sup> Ed, São Paulo, Atheneu, 2001; 99-136.
17. 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.
18. Torres MLA, Carvalho JCA, Bello CN et al - Sistemas respiratórios valvulares com absorção de CO<sub>2</sub>: capacidade de aquecimento e umidificação dos gases inalados em três tipos de montagens utilizadas em aparelhos de anestesia no Brasil. *Rev Bras Anesthesiol*, 1997;47:89-100.
19. Bisinotto FMB, Braz JRC, Martins RHE - Umidificação dos gases inalados. *Rev Bras Anesthesiol*, 1999;49:349-359.
20. Bisinotto FMB, Braz JRC, Martins RHG et al - Tracheobronchial consequences of the use of heat and moisture exchangers in dogs. *Can J Anesth*, 1999;46:897-903.
21. Tausk HC, Miller R, Roberts RB - Maintenance of body temperature by heated humidification. *Anesth Analg*, 1976;55:719-723.
22. Chalon J, Patel C, Ali M et al - Humidity and the anesthetized patient. *Anesthesiology*, 1978;50:195-198.
23. Berry FA, Ball CG, Blankenbaker WL - Humidification of anesthetic systems for prolonged procedures. *Anesth Analg*, 1975;54:50-54.
24. Bengtson NM, Johnson A - Failure of a heat and moisture exchanger as a cause of disconnection during anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1989;33:522-523.
25. Bengtson JP, Sonander H, Stenqvist O - Preservation of humidity and heat of respiratory during anesthesia. A laboratory investigation. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1987;31:127-131.
26. Mercke U, Hakansson CH, Toremalin NG - The influence of temperature on mucociliary activity. Temperature range 20 °C - 40 °C. *Acta Otolaryngol*, 1974;78:444-450.
27. Mercke U - The influence of temperature on mucociliary activity: temperature range 40 °C - 50 °C. *Acta Otolaryngol*, 1974;78: 253-258.
28. Aldrete JA, Cubillos P, Sherrill D - Humidity and temperature changes during low flow and closed system anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1981;25:312-314.
29. Kleemann PP - The climatization of anesthetic gases under conditions of high flow to low flow. *Acta Anaesthesiol Belg*, 1990;41:189-200.
30. Mebius C - A comparative evaluation of disposable humidifiers. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1983;27:403-409.
31. Shelly MP, Lloyd GM, Park GR - A review of the mechanisms and methods of humidification of inspired gases. *Intensive Care Med*, 1988;14:1-9.
32. Nouguchi H, Takumi Y, Aochi O - A study of humidification in tracheostomized dogs. *Br J Anaesth*, 1973;45:844-848.
33. Chalon J, Loew DAY, Malebranche J - Effect of dry anesthetic gases on the tracheobronchial ciliated epithelium. *Anesthesiology*, 1972;37:338-343.
34. Tsuda T, Nouguchi H, Takumi Y et al - Optimum humidification of air administered to a tracheostomy in dogs. Scanning electron microscopy and surfactant studies. *Br J Anaesth*, 1977;49: 965-977.
35. Ekebon B, Lindholm CE - Heat end moisture exchangers and body temperature: a preoperative study. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1990;34:538-542.
36. Stone DR, Downs JB, Paul WL et al - Adult body temperature and heated humidification of anesthetic gases during general anesthesia. *Anesth Analg*, 1981;60:736-741.
37. Tonelli D, Toldo A - Regulação da temperatura e anestesia. *Rev Bras Anesthesiol*, 1994;44:195-204.

## RESUMEN

Gorayb SBS, Braz JRC, Martins, RHG, Módolo NSP, Nakamura G - Humidificación y Calentamiento del Gas Inhalado durante Ventilación Artificial con Bajo Flujo y Flujo Mínimo de Gases Frescos

**JUSTIFICATIVA Y OBJETIVOS:** *En pacientes bajo intubación traqueal o traqueostomía, la humidificación y calentamiento del gas inhalado son necesarios para la prevención de lesiones en el sistema respiratorio, consecuentes al contacto del gas frío y seco con las vías aéreas. El objetivo de la pesquisa fue evaluar el efecto del sistema respiratorio circular con absorbedor de dióxido de carbono del aparato de anestesia Cícero de Dräger, cuanto a la capacidad de calentamiento y humidificación de los gases inhalados, utilizándose flujo bajo (1 L.min<sup>-1</sup>) o mínimo (0,5 L.min<sup>-1</sup>) de gases frescos.*

**MÉTODO:** *El estudio aleatorio fue realizado en 24 pacientes estado físico ASA I, con edades entre 18 y 65 años, sometidos a anestesia general, utilizándose la Estación de Trabajo Cícero de Dräger (Alemania), para realización de cirugías abdominales, los cuales fueron distribuidos aleatoriamente en dos grupos: grupo de Bajo Flujo (BF), en el cual fue administrado 0,5 L.min<sup>-1</sup> de oxígeno y 0,5 L.min<sup>-1</sup> de óxido nítrico y flujo mínimo (FM), administrándose solamente oxígeno a 0,5 L.min<sup>-1</sup>. Los atributos estudiados fueron: temperatura, humedad relativa y absoluta de la sala de operación y del gas en el sistema inspiratorio.*

**RESULTADOS:** *Los valores de la temperatura, humedad relativa y humedad absoluta en el sistema inspiratorio en la salida del aparato de anestesia y junto al tubo traqueal no presentaron diferencia significativa entre los grupos, pero aumentaron a lo largo del tiempo en los dos grupos (BF y FM), habiendo influencia de la temperatura de la sala de operación sobre la temperatura del gas inhalado, en los dos grupos estudiados. Niveles de humedad y temperatura próximos de los ideales fueron alcanzados, en los dos grupos, a partir de 90 minutos.*

**CONCLUSIONES:** *No hay diferencia significativa de la humedad y temperatura del gas inhalado utilizándose bajo flujo y flujo mínimo de gases frescos.*