

Artigo Científico

Sistemas Respiratórios Valvulares com Absorção de CO₂: Capacidade de Aquecimento e Umidificação dos Gases Inalados em três Tipos de Montagens utilizadas em Aparelhos de Anestesia no Brasil *

Marcelo Luis Abramides Torres, TSA¹; José Carlos Almeida Carvalho, TSA¹;
Carmen N. Bello, TSA¹; Eugesse Cremonesi, TSA²; Roberto Simão Mathias, TSA²

Torres MLA, Carvalho JCA, Bello CN, Cremonesi E, Mathias RS - Anesthesia Breathing Systems with CO₂ Absorption: Warming and Humidification of Inspired Gases in three Arrangements used in Brazilian Anesthesia Machines

Background and Objectives - Humidification and warming of inspired gases in intubated or tracheotomized patients are required procedures to avoid respiratory tract injury as a consequence of dry and cold air inhalation. In anesthesia practice, however, little attention has been paid to the climatization of the inspired gases. Among the solutions proposed for the warming and humidification of anesthesia gases are the heat exchangers (artificial nose), heated humidifiers and anesthesia machines equipped with breathing systems with CO₂ absorbers which, due to its simplicity and safety, seem the best way for the climatization of the inspired gases. The objective of this study was to evaluate, in three arrangements of breathing systems used in Brazilian anesthesia machines, the influence of the fresh gas flow (FGF) on the climatization of the inspired air, as well as the influence of thermal insulation of the breathing tubes.

Methods - An experimental model of pulmonary ventilation was used to test three possibilities of arrangements of breathing systems in the anesthesia machine, denominated arrangements A, B and C, and to evaluate the changes of temperature and humidity of the inspired gas and of the temperature of the soda lime. In arrangement A, the FGF was admitted to the circuit close to the inspiratory limb, without passing through the soda lime. In arrangement B and C, the FGF passed through the CO₂ absorber before reaching the inspired gases. In arrangements A, B and C, FGF of 0.5, 1, 3 and 6 L/min were tested. The tests performed with the arrangement B were repeated, with a FGF of 1 L/min and thermal insulation of the breathing tubes with aluminum sheets (arrangement D), to evaluate the maintenance of heat and humidity by the breathing system under such conditions.

Results - Soda lime temperature was influenced by the FGF and lower FGF determined higher temperatures in the canister. Inspired gas temperature was significantly correlated with room temperature and was not influenced by the arrangement or by the FGF. Absolute humidity of inspired gas was significantly higher in arrangements B and C, with no differences between them and no influence of the FGF. In arrangement A, lower FGF determined higher values of inspired gas humidity. The use of a thermal insulator in the breathing tubes in arrangement D was effective in increasing the temperature and the absolute humidity of the inspired gas.

Conclusions - The results indicate that the use of thermal insulators, of more effective arrangements (B and C) and of low FGF can significantly improve the climatization of th

KEY WORDS - ANESTHESIA MACHINE; EQUIPMENTS: Breathing system with CO₂

* Trabalho realizado no Laboratório de Anestesia Experimental (LIM 8) da Disciplina de Anestesiologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

1 Professor Doutor da Divisão de Anestesia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

2 Professor Associado da Disciplina de Anestesiologia da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

Correspondência para Marcelo Luis Abramides Torres
Rua Baltazar da Veiga 501 Ap 22
04510-001 São Paulo - SP

Apresentado em 09 de julho de 1996

Aceito para publicação em 27 de agosto de 1996

© 1997, Sociedade Brasileira de Anestesiologia

Sob circunstâncias normais o nariz, as fossas nasais e as vias aéreas superiores aquecem e umidificam os gases inspirados. Porém, quando se ventila um paciente, seja através de tubo traqueal ou por traqueostomia, a climatização do ar inalado fica bastante prejudicada e gases secos e frios podem entrar em contato com a traquéia.

Dentre as conseqüências decorrentes desse fato, podemos citar: alteração do movimento ciliar, endurecimento e incrustação de secreções, aumento da resistência das vias aéreas, alterações da relação ventilação-per-

fusão, microatelectasias, diminuição da complacência pulmonar e da capacidade residual funcional, alterações da função do surfactante pulmonar, reações inflamatórias, ulcerações nas mucosas, desidratação, hipotermia e tremores pós-operatórios¹⁻⁹.

Há concordância geral quanto à necessidade de umidificação e aquecimento dos gases inalados (climatização artificial) durante ventilação mecânica em pacientes em unidades de terapia intensiva. Entretanto, durante atos anestésicos, raramente são observados cuidados com o aquecimento e umidificação dos gases inalados. Provavelmente o motivo seja a duração do procedimento que, na maioria das vezes, não ultrapassa algumas horas. Alguns trabalhos^{3,10-12}, contudo, demonstraram alterações significativas decorrentes da inalação de gás frio e seco, mesmo por períodos curtos.

Em unidades de terapia intensiva, a climatização do ar inalado é obtida pela interposição de um umidificador aquecido entre o ramo inspiratório do ventilador e as vias aéreas dos pacientes.

Durante procedimentos anestésicos, vários métodos foram utilizados para umidificar e aquecer os gases inalados. Entre as principais propostas estão a adição de umidificadores aquecidos¹³, a admissão do fluxo de gases frescos (FGF) diretamente no reservatório de cal sodada¹⁴, a redução do fluxo de gases frescos^{15,12}, a utilização de sistemas coaxiais no aparelho de anestesia¹⁴, a colocação de umidi-

ficadores dentro do reservatório de cal sodada¹⁶ ou a utilização de trocadores de calor e umidade (nariz artificial)¹⁷⁻¹⁹. Dentre todas, a maneira mais simples e segura de climatizar os gases parece ser o emprego de aparelhos de anestesia com sistemas respiratórios circulares valvulares com absorção de CO₂^{20,21}. A reação química de neutralização do CO₂ pela cal sodada gera calor e água que, dependendo da montagem dos componentes do aparelho de anestesia, pode ser incorporada de maneira mais ou menos eficiente aos gases inalados pelos pacientes.

Os níveis ideais de umidade absoluta e temperatura do gás inalado, quando as vias aéreas superiores são excluídas do caminho do ar, pela intubação da traquéia, ainda são controversos na literatura (Tabela I).

O objetivo do presente estudo foi a avaliação, em modelo experimental, de três montagens de sistemas respiratórios de aparelhos de anestesia, utilizados no Brasil, quanto à capacidade de aquecer e umidificar os gases inalados, bem como da estabilidade térmica dos mesmos, procurando-se estabelecer:

- Influência do fluxo de gases frescos sobre a temperatura da cal sodada,
- Influência do fluxo de gases frescos sobre a temperatura do gás inalado,
- Influência do fluxo de gases frescos sobre a umidade absoluta do gás inalado,
- Influência da temperatura ambiente sobre a temperatura do gás inalado, e

Tabela I - Níveis ideais de umidade absoluta e temperatura no gás inalado em traquéia. Resumo de dados de literatura

Autor	Umidade Absoluta (mg.L ⁻¹)	Temp. (°C)
INGELSTEDT; TOREMALM, 1956 ²² *	25 a 33	32 a 33
CHAMNEY, 1969 ²³	13 a 34	20 a 37
DÉRY, 1973 ²⁴ *	25 a 33	32 a 33
NOGUCHI et al, 1973 ⁴	23 a 30	20 a 30
TSUDA et al., 1977 ⁶	23 a 30	25 a 30
CHALON et al., 1979 ¹¹	28 a 32 períodos superiores a 1 hora	-
CHALON et al., 1979 ¹¹	12 períodos inferiores a 1 hora	-
MEBIUS, 1983 ²⁵	25 a 30	32

* Medidas realizadas por punção da região traqueal superior em condições normais de respiração

- Influência do emprego de isolamento térmico nos tubos corrugados do sistema respiratório sobre a temperatura e umidade absoluta do gás inalado.

MÉTODO

Foram testados, em um modelo experimental de ventilação pulmonar, três possibilidades de montagem do sistema respiratório com absorvedor de CO₂, que denominamos montagens A, B e C, para avaliação da temperatura e da umidade do gás inalado e da temperatura da cal sodada. Estas montagens são utilizadas em aparelhos de anestesia nacionais. Repetimos os testes realizados na montagem B, porém com tubos corrugados isolados termicamente para avaliação da influência da temperatura ambiental sobre a conservação de calor no sistema respiratório e denominamos este arranjo de montagem D.

O modelo para simulação pulmonar^{14,15} consistiu no seguinte (Figura 1):

1. conexão de uma bolsa reservatório, com capacidade para 5 litros, ao ramo do paciente da peça em "Y" do sistema respiratório.
2. adição de fluxo de 250 ml.min⁻¹ de CO₂ na parte posterior da bolsa, para simulação da produção de gás carbônico pelo organismo.
3. adição de umidificador aquecido no ramo expiratório do sistema respiratório para simulação da umidade e da temperatura do gás exalado pelos pacientes.

Os testes foram realizados com o simulador de pulmão sendo ventilado mecanicamente com um volume corrente de 600 ml e frequência respiratória de 10 incursões por minuto. Foi utilizado um ventilador pneumático, com fole de 1000 ml, da marca Takaoka®, modelo 676. Na saída do excesso de gases do ventilador foi colocada uma bolsa reservatório para prevenção da aspiração de ar ambiente para o ventilador e

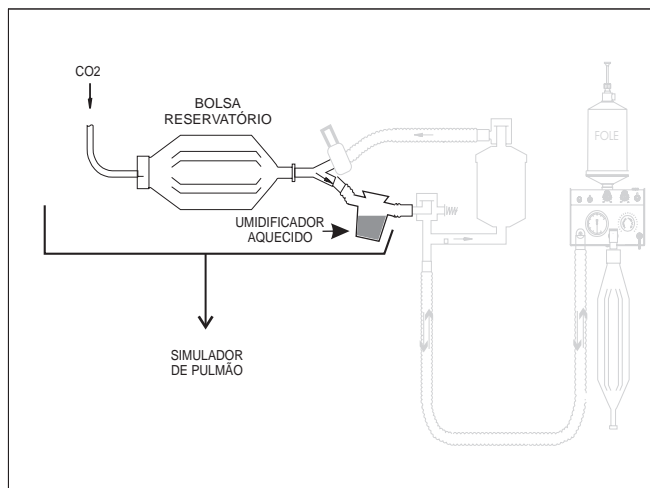


Fig 1 - Esquema do simulador de pulmão conectado a um aparelho de anestesia

sistema respiratório. A cal sodada utilizada foi da marca Drägersorb 800®. A capacidade do reservatório de cal sodada era de 1 litro e o comprimento dos tubos corrugados 1 metro.

Na montagem A (Figura 2), o FGF é admitido no sistema respiratório próximo ao ramo inspiratório, portanto sem passar pela cal sodada^{26, 27}. Na montagem B (Figura 3), o FGF passa pelo absorvedor antes de atingir os gases inspirados. Na montagem C (Figura 4), o sistema respiratório funciona como um "reservatório" para os gases expirados²⁸, sendo que, o FGF também passa pelo absorvedor antes de se incorporar aos gases inspirados.

As medidas de temperatura e umidade

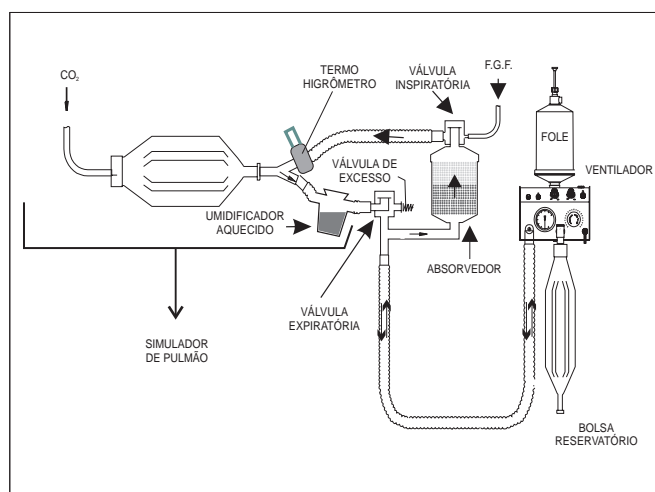


Fig 2 - Esquema da montagem A

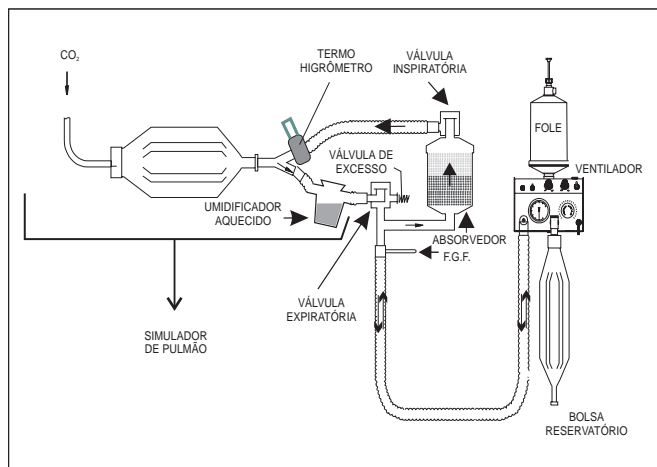


Fig 3 - Esquema da montagem B

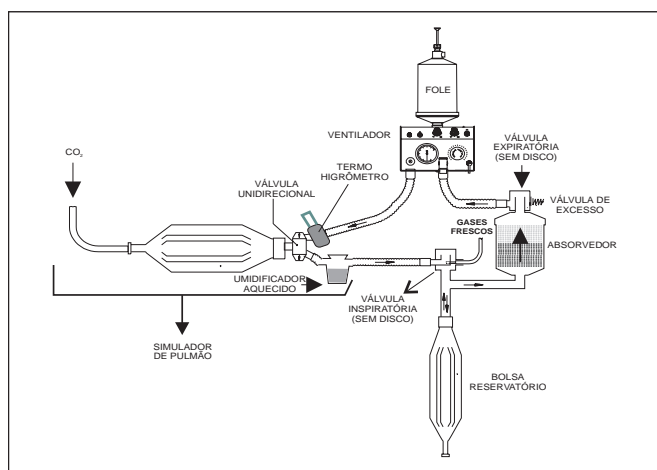


Fig 4 - Esquema da montagem C

relativa do gás inalado, bem como a temperatura da cal sodada, para cada montagem e fluxo de gases frescos utilizados, foram realizadas nos tempos 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50 e 60 minutos. Foram empregados fluxos de gases frescos de 6, 3, 1 e 0,5 litro por minuto.

Na Montagem D, foram repetidos os mesmos procedimentos da montagem B, com fluxo de gases frescos de 1 L.min⁻¹, porém com a utilização de isolamento térmico nos três tubos corrugados empregados no sistema respiratório. Este consistiu em envolvê-los com três camadas de folha de alumínio, normalmente utilizadas para embalagem de alimentos, com a face brilhante voltada para o interior. O período de es-

tudo foi expandido, sendo os registros realizados nos momentos: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80 e 90 minutos. Em virtude da ampliação do tempo de observação, repetimos ensaios sem isolamento térmico, considerados como controle. Nessa montagem foram registrados, em cada momento, os valores de umidade relativa e temperatura do gás inalado e temperatura ambiente da sala. Para avaliação da eficiência do isolamento térmico em melhorar o aquecimento do gás inalado foi calculada a diferença entre a temperatura do gás inalado e a da sala (ΔT). Esse procedimento elimina a influência da temperatura ambiente sobre a temperatura do gás inalado na análise dos dados.

Em todas as montagens, entre o ramo inspiratório do sistema respiratório e a peça em "Y" foram conectados os sensores do termo-higrômetro para realização das medidas de temperatura e da umidade relativa do gás inalado. O termo-higrômetro utilizado foi da marca Gulton do Brasil® que emprega como sensor de umidade relativa um filme de polímero capacitivo da marca Panametrics®.

A umidade absoluta foi calculada através da seguinte fórmula:

onde:

$$UA = UR \cdot UM$$

UA - **umidade absoluta** - massa de vapor de água presente num determinado volume de gás. É usualmente expressa em mg de água por litro do gás (mg.l⁻¹).

UR - **umidade relativa** - razão entre a umidade absoluta e a umidade máxima, expressa em valores percentuais.

UM - **umidade máxima** - quantidade máxima de vapor de água que pode existir na fase gasosa de uma determinada atmosfera. Conhecendo-se a temperatura do gás inalado, o valor da umidade máxima de água é fornecido por tabelas²⁶.

A temperatura do reservatório de cal so-

dada foi medida na superfície externa, com um termômetro infravermelho, da marca Omega Medical®, modelo Surface Temperature Scanner, sendo sempre considerada a maior temperatura da superfície do absorvedor em cada medida. Os experimentos foram realizados quando a temperatura ambiental encontrava-se entre 19 e 22° C.

Para confirmação dos resultados, nas montagens A, B e C, os ensaios foram repetidos uma vez, observando-se sempre a mesma seqüência. Na montagem D, os experimentos foram realizados quatro vezes. O fole do ventilador, os tubos corrugados, as válvulas, o absorvedor, a cal sodada, as bolsas reservatório e conexões foram substituídos após cada ensaio para evitar a influência do vapor de água acumulado no sistema.

Para realização das análises estatísticas foram inicialmente calculadas as médias ponderadas dos valores da temperatura da cal e da temperatura e umidade absoluta do gás inalado, durante os vários ensaios.

Para análise estatística da influência do fluxo de gases frescos sobre a temperatura da cal sodada e sobre a temperatura e umidade absoluta do gás inalado, foram realizadas análises de variância, comparações múltiplas de Tukey e teste "t" de Student, todos com intervalo de confiança de 95% (p < 0,05). Nestas análises

foram avaliadas a influência do tipo de montagem e do fluxo de gases frescos empregados sobre a temperatura do gás inalado, umidade absoluta no gás inalado e temperatura da cal.

Para verificar a influência da temperatura ambiente sobre a temperatura do gás inalado, foram construídos diagramas de dispersão da temperatura do gás inalado, em função da temperatura da sala, para cálculo do coeficiente de correlação.

Para análise estatística da influência do isolamento térmico dos tubos corrugados do sistema respiratório, sobre a temperatura e umidade absoluta do gás inalado, foi utilizado o teste "t" de Student entre as médias ponderadas globais e individuais. Nas análises individuais (em cada momento) foi utilizado o critério de Bonferroni, para determinação do nível de confiança.

RESULTADOS

Para as variáveis temperatura do gás inalado, umidade absoluta do gás inalado e temperatura da cal sodada foram calculadas as médias ponderadas e desvios padrões para cada montagem e FGF empregados, durante os 60 minutos de cada experimento. Os valores obtidos encontram-se na Tabela II.

A representação gráfica dos resultados

Tabela II - Médias ponderadas (♦) e desvios padrões da temperatura da cal sodada e da temperatura e umidade absoluta do gás inalado, nas montagens A, B e C com fluxos de gases frescos de 6, 3, 1 e 0,5 L.min⁻¹

Montagem	FGF (L.min ⁻¹)	Temp. cal (°C)	Temp. gás (°C)	UA (mg.L ⁻¹)
A	6	28,09 ± 0,56	20,86 ± 0,21	4,94 ± 0,48
A	3	32,65 ± 2,19	21,05 ± 0,59	8,28 ± 0,64
A	1	35,90 ± 1,31	20,82 ± 1,37	12,42 ± 1,97
A	0,5	36,66 ± 1,36	20,57 ± 0,62	15,01 ± 0,87
B	6	25,30 ± 1,05	20,42 ± 0,88	15,77 ± 0,94
B	3	30,31 ± 0,68	21,10 ± 1,18	16,31 ± 1,52
B	1	35,23 ± 1,33	21,06 ± 1,25	16,45 ± 1,45
B	0,5	37,37 ± 1,36	21,23 ± 0,85	16,82 ± 1,04
C	6	30,95 ± 0,18	20,56 ± 0,33	16,89 ± 0,43
C	3	34,21 ± 1,17	20,96 ± 1,10	16,67 ± 1,42
C	1	36,41 ± 1,22	21,06 ± 1,10	17,30 ± 1,78
C	0,5	37,38 ± 0,17	21,07 ± 1,22	17,01 ± 1,99

Temp.cal (°C) - temperatura da cal sodada em graus Celsius; Temp. gás (°C) - temperatura do gás inalado em graus Celsius; UA (mg.L⁻¹) - umidade absoluta do gás inalado em mg de água por litro de gás; FGF (L.min⁻¹) -fluxo de gases frescos em litros por minuto; (♦) - os valores referem-se à média ponderada de todo o período de estudo de cada experimento, nas suas 2 repetições

da Tabela II, bem como as diferenças estatisticamente significantes, podem ser visualizadas nas Figuras 5, 6 e 7. A temperatura do gás inalado não apresentou diferenças significantes entre nenhuma montagem ou FGF empregado.

O coeficiente de correlação entre as

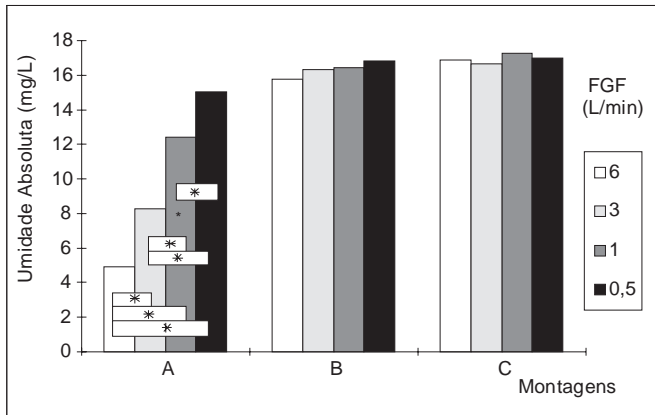


Fig 5 - Variação da umidade absoluta (mg.L^{-1}) no gás inalado em função da montagem para cada FGF.
* $p < 0,05$ (comparações múltiplas de Tukey)

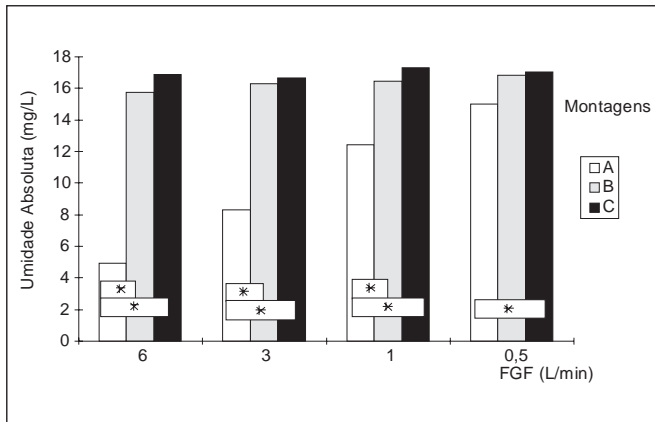


Fig 6 - Variação da umidade absoluta (mg.L^{-1}) no gás inalado em função do FGF para cada montagem.
* $p < 0,05$ (comparações múltiplas de Tukey)

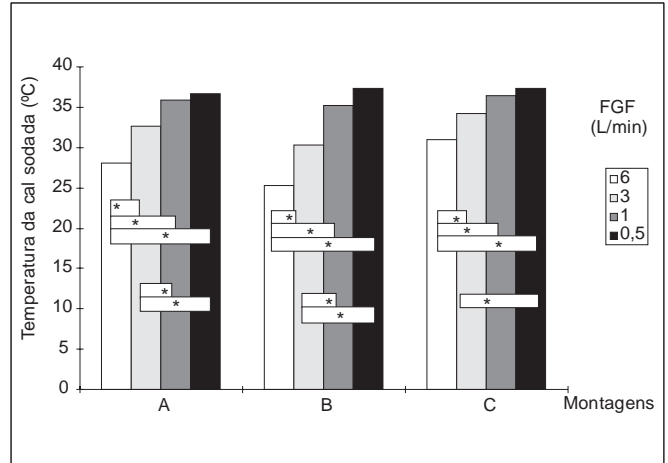


Fig 7 - Variação da temperatura da cal sodada em função da montagem para cada FGF.
* $p < 0,05$ (comparações múltiplas de Tukey)

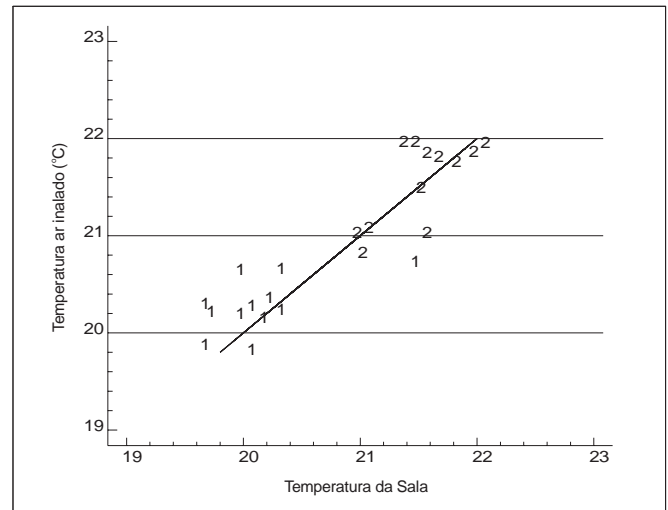


Fig 8 - Correlação entre a temperatura do gás inalado e a da sala em modelos experimentais.

duas temperaturas foi de 0,90 (altamente significativo). Os pontos identificados na Figura 8 pelo número "1" se referem ao 1º ensaio e com o número "2" ao 2º ensaio.

Para avaliação da eficiência do isolamento térmico sobre a temperatura do gás inalado foi calculada a diferença entre a temperatura do gás inalado e a da sala (ΔT). Para resumir a informação da diferença térmica e da umidade

absoluta do gás inalado, foram calculadas as médias ponderadas desses valores entre todas as repetições, sem isolamento e depois com isolamento térmico.

Foram encontradas diferenças significantes entre as médias das diferenças térmicas (ΔT) dos sistemas respiratórios com e sem isolamento térmico (Figura 9). Os resultados para avaliação da influência do isolamento térmico sobre a temperatura do gás inalado em cada ocasião, também podem ser visualizados na Figura 9.

Quanto à umidade absoluta, foram en-

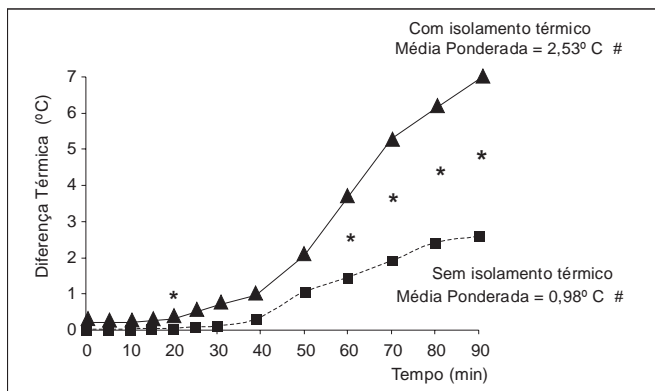


Fig 9 - Diferença entre a temperatura ambiente e do gás inalado (ΔT), na montagem D. Valores individuais e Médias Ponderadas.
* $p \leq 0,008$ (Critério conservador de Bonferroni)
$p < 0,05$ (Teste t de Student)

contradas diferenças significativas entre as médias ponderadas para os dois grupos (com e sem isolamento térmico) (Figura 10). Os resultados para avaliação da influência do isolamento térmico, sobre a umidade absoluta do gás inalado em cada ocasião, podem ser visualizados na Figura 10.

DISCUSSÃO

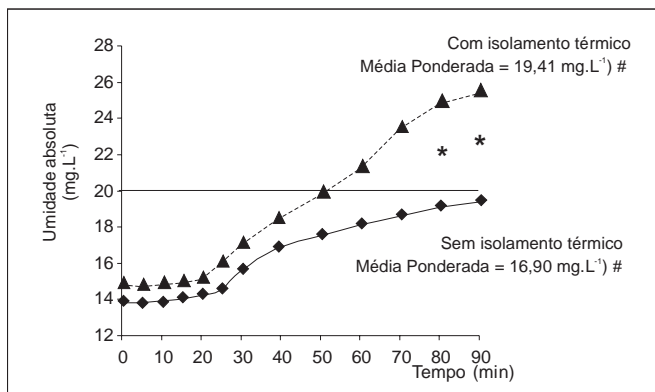


Fig 10 - Umidade absoluta do gás inalado, na montagem D. Valores individuais e Médias Ponderadas.
* $p \leq 0,008$ (Critério conservador de Bonferroni)
$p < 0,05$ (Teste t de Student)

Temperatura da Cal Sodada

Com FGF semelhantes aos empregados por Chalon¹⁴, encontramos valores de temperatura da cal sodada mais elevados. A explicação provável para tal diferença é que consideramos a maior temperatura na superfície externa do

absorvedor, diferentemente de Chalon, que media a temperatura em um ponto fixo do absorvedor.

Na Figura 7, observa-se comportamento semelhante nas três montagens. Quanto menores foram os FGF, maiores foram as temperaturas registradas no absorvedor.

Na verdade, apesar de existirem diferenças entre as montagens de sistemas respiratórios testadas neste estudo, um fator comum é a admissão de gás frio e seco num sistema relativamente estanque e que de alguma forma passa pela cal sodada. Os resultados encontrados nos parecem os esperados, pois quanto maiores forem esses fluxos maior será o resfriamento provocado no absorvedor ou, em outras palavras, menor será o aquecimento conseqüente à reação exotérmica do CO₂ com a cal sodada.

Temperatura do Gás Inalado

A literatura é discordante quanto à influência do FGF sobre a temperatura do gás inalado. Alguns estudos relatam aumento significativo da temperatura utilizando sistemas respiratórios com absorção de CO₂ e baixos FGF^{12,29}, enquanto outros não apresentam diferenças significativas na temperatura do gás inalado^{16,30,31}. Kleemann¹², apesar de relatar aumento significativo da temperatura do gás inspirado, não refere dados sobre a temperatura ambiente, dificultando portanto, a análise do comportamento térmico dos sistemas testados.

A temperatura do gás inalado, em nosso estudo (Tabela II) não apresentou diferenças significativas entre as três montagens de sistemas respiratórios, com qualquer FGF empregado. Portanto, independentemente da montagem e FGF empregados, o gás inalado não incorporou o calor produzido na reação química da cal sodada com o CO₂, como era de se esperar. Isto ocorre provavelmente pela perda do calor gerado no absorvedor para o ambiente ou para outras

partes do aparelho de anestesia.

Correlação entre a Temperatura do Gás Inalado e a Temperatura Ambiente

Houve correlação significativa entre a temperatura ambiente e a do gás inalado (Figura 8). No segundo ensaio, as temperaturas ambientes foram superiores às do primeiro, apesar de manterem-se na faixa estabelecida (19 a 22° C). Este fato gerou temperaturas mais elevadas no gás inalado.

A correlação entre as temperaturas do gás inalado e ambiente reforça o resultado, encontrado na análise da temperatura do gás inalado nas três montagens de sistemas respiratórios, de que o calor gerado na cal sodada não é incorporado ao gás inspirado, pois provavelmente é transferido ao meio ambiente, que se encontrava numa temperatura mais baixa.

Não encontramos na literatura nenhum estudo sobre a correlação entre a temperatura ambiente e a dos gás inalado. Em alguns trabalhos ^{29,32} havia apenas a menção da possibilidade da interferência da temperatura ambiente sobre a dos gás inalado, porém, sem maiores investigações.

Umidade Absoluta do Gás Inalado

A Figura 5 mostra diferenças estatisticamente significativas entre as médias da umidade absoluta entre todos os FGF empregados nas várias montagens. Para a montagem A, fluxos de gases frescos mais baixos melhoraram a eficiência da umidificação do gás inalado.

Para as montagens B e C, a variação do FGF não altera a umidade absoluta do gás inalado, ou seja, nessas montagens, fluxo de gases frescos mais baixos não aumentaram a umidificação do gás inalado. Nesse item, nossos resultados, em parte divergem dos encontrados por vários autores ^{14-16,29-31} que observaram melhor eficiência na umidificação do gás inspi-

rado com FGF mais baixos. Para a montagem A, entretanto, houve concordância com os resultados desses autores. Nem todos os trabalhos citados acima, traziam descrições da montagem dos sistemas respiratórios testados. Porém, naqueles onde havia descrições, o FGF foi admitido no ramo inspiratório sem passar pela cal sodada. Isto explica a concordância apenas com os nossos resultados na montagem A.

As montagens B e C mostraram-se superiores quando comparadas com a montagem A, quanto à umidificação do gás inalado, em todos os FGF utilizados. A Figura 6 comprova que, com quaisquer FGF, os níveis médios de umidade absoluta são estatisticamente superiores à montagem A, não havendo diferenças estatisticamente significantes entre as montagens B e C.

Nas montagens B e C, com quaisquer FGF, desde os momentos iniciais dos experimentos, observaram-se valores de umidade absoluta superiores à 13 mg.L⁻¹, sendo que as médias ponderadas situaram-se ao redor de 16 mg.L⁻¹ (Figura 5). Segundo Chalon ¹¹, em anestesias com duração de até uma hora, 12 mg de vapor de água por litro de gás são suficientes para prevenir complicações pulmonares. Já na montagem A, com FGF de 3 e 6 L.min⁻¹, nunca foram atingidos valores de umidade absoluta de 12 mg.L⁻¹ (Figura 5).

Das três montagens de sistemas respiratórios de aparelhos de anestesia estudadas, provavelmente a mais utilizada no Brasil seja a montagem A. Nela, a admissão do FGF se faz próxima ao ramo inspiratório, trazendo como vantagem sobre as montagens B e C maior velocidade na indução da anestesia inalatória, bem como variações do plano anestésico mais rápidas ³³⁻³⁵. Contudo, como já referimos, é a menos eficiente em termos de umidificação do gás inalado.

Pareceu-nos finalmente que a baixa temperatura do gás inalado, observada em todas as montagens e FGF testados, prejudicou muito o conteúdo de água do gás inspirado. É importante salientar, que gases frios contêm menor quantidade de vapor de água do que gases com tem-

peraturas mais elevadas. Se a temperatura do gás inalado fosse mais elevada, a umidade absoluta poderia apresentar valores superiores aos encontrados, fazendo supor que o fator limitante para melhor umidificação do gás inalado seja o seu aquecimento ineficiente.

Influência do Isolamento Térmico

Os ensaios realizados na montagem D, permitiram verificar a influência do isolamento térmico dos tubos corrugados do sistema respiratório. Como foram detectadas diferentes temperaturas ambientes nas várias repetições da montagem D, optamos por analisar a diferença entre a temperatura do gás inalado e a ambiente (ΔT). Foi comprovada a eficiência do isolamento térmico empregado, tanto no que diz respeito ao aquecimento quanto à umidificação do gás inalado. Nos sistemas respiratórios com isolamento térmico, as diferenças entre a temperatura ambiente e a do gás inalado foram significativamente superiores às diferenças nos sistemas sem isolamento térmico.

A umidade absoluta do gás inalado aumentou significativamente, quando foi utilizado isolamento térmico, tanto nos valores médios quanto nos individuais a partir dos 80 minutos (Figura 10). A partir dos 50 minutos de estudo, na montagem com isolamento térmico, a umidade absoluta apresentava valores ao redor de 20 mg.L⁻¹. Apesar da controvérsia dos dados de literatura quanto aos níveis ideais de umidade no gás inalado, 20 mg.L⁻¹ de umidade absoluta parece ser um valor aceitável, mesmo para anestésias com duração superior a uma hora. Aos 90 minutos de estudo foram detectados valores de umidade absoluta no gás inalado ao redor de 25 mg.L⁻¹, semelhantes aos encontrados em amostras de ar obtidos por punções de traquéia em circunstâncias normais^{22, 24}.

A perda do calor gerado na cal sodada para o meio ambiente, além de prejudicar o aquecimento e a umidificação do gás inalado, provoca condensação da umidade pelo resfriamento do gás no interior do sistema respiratório,

originando água no estado líquido que pode interferir no funcionamento adequado das válvulas e do ventilador. Não encontramos na literatura dados referentes a utilização de isolamento térmico dos tubos corrugados do sistema respiratório do aparelho de anestesia, com a finalidade de aumentar a temperatura e o conteúdo de vapor de água do gás inalado. Alguns autores utilizaram resistências elétricas para aquecimento do gás no interior do ramo inspiratório do sistema respiratório, para prevenção da condensação do vapor de água³⁶. Pelo risco de acidentes, julgamos que provavelmente o isolamento térmico dos tubos corrugados poderá prevenir a condensação do vapor de água, de forma mais segura. Entretanto, existem referências³⁷ de que o envolvimento de tubos corrugados com filme de PVC não diminuiu a formação de água no sistema respiratório do aparelho de anestesia.

Portanto, os sistemas respiratórios com absorção de CO₂ dos aparelhos de anestesia constituem a maneira mais simples e segura de incorporar calor e água ao gás inalado pelos pacientes. Apesar dos sistemas respiratórios na prática nem sempre cumprirem essa função adequadamente, o emprego de tubos corrugados com isolantes térmicos, como proposto neste trabalho, a opção por montagens mais eficientes (montagens B e C), bem como a administração de baixos fluxos de gases frescos, podem produzir significativa melhora na climatização dos gases inalados.

Em vista dos resultados apresentados e discutidos, concluiu-se que:

- O FGF influencia a temperatura da cal sodada: baixos FGF determinam temperaturas mais elevadas nas montagens dos sistemas respiratórios analisadas.
- A montagem do sistema respiratório do aparelho de anestesia e a variação do FGF não influencia a temperatura do gás inalado.
- Com qualquer FGF, a umidade absoluta do gás inalado é maior quando o FGF passa pela cal sodada antes de alcançar o ramo

inspiratório. Quando isso não ocorre, a umidade absoluta do gás inalado é maior quanto menor for o FGF.

- A temperatura do gás inalado tem correlação significativa com a temperatura ambiente nas montagens do sistema respiratório ou FGF utilizados.
- O emprego de isolamento térmico nos tubos corrugados do sistema respiratório do aparelho de anestesia aumenta a temperatura e a umidade absoluta do gás inalado.

Torres MLA, Carvalho JCA, Bello CN, Cremonesi E, Mathias RS - Sistemas Respiratórios Valvulares com Absorção de CO₂: Capacidade de Aquecimento e Umidificação dos Gases Inalados em três Tipos de Montagens Utilizadas em Aparelhos de Anestesia no Brasil

Justificativa e Objetivos - A umidificação e aquecimento do gás inalado em pacientes intubados e traqueostomizados é um procedimento necessário para prevenção de lesões no sistema respiratório conseqüentes ao contato do ar frio e seco com as vias aéreas inferiores. Entretanto, em procedimentos anestésicos não são observados cuidados para climatização do ar inalado. Entre as soluções para aquecimento e umidificação do gás em anestésias estão a utilização de trocadores de calor (nariz artificial), umidificadores aquecidos e ventilação com aparelhos de anestesia dotados de sistemas respiratórios com absorvedores de CO₂. Estes últimos, pela simplicidade e segurança, nos parecem a melhor forma de climatização dos gases a serem inalados pelos pacientes. O objetivo deste estudo foi a avaliação da influência do fluxo de gases frescos (FGF) em três montagens de sistemas respiratórios utilizadas em aparelhos de anestesia nacionais, bem como a influência do emprego de isolante térmico nos tubos corrugados do sistema respiratório, sobre a climatização do ar inalado.

Método - Foram testados, em um modelo experimental de ventilação pulmonar, três possibilidades de montagem do sistema respiratório do aparelho de anestesia, que denominamos montagens A, B e C, para verificação de alterações da

temperatura e umidade do gás inalado e da temperatura da cal sodada em função da variação do fluxo de gases frescos (FGF). Nas montagens B e C o FGF passa pela cal sodada antes de atingir o ramo inspiratório; na montagem A o FGF é admitido próximo ao ramo inspiratório. Repetimos os testes realizados na montagem B, porém com traquéias isoladas termicamente, para avaliação da conservação do calor e umidade no sistema respiratório.

Resultados - A temperatura da cal foi influenciada pelos FGF, sendo que FGF mais baixos determinaram temperaturas mais elevadas no absorvedor. A temperatura ambiente não foi influenciada pelas montagens nem pelos FGF empregados. A umidade absoluta do gás inalado foi significativamente mais elevada nas montagens B e C, não havendo diferenças entre elas, nem influência do FGF utilizado. Na montagem A, FGF mais baixos determinaram valores mais elevados de umidade no ar inalado. O emprego de isolante térmico nos tubos corrugados da montagem D foi eficiente para aumentar a temperatura e a umidade absoluta do gás inalado.

Conclusões - Os resultados indicam que o emprego de tubos corrugados com isolante térmico e a opção por montagens mais eficientes (montagens B e C) bem como a administração de baixos FGF, podem produzir significativa melhora na climatização dos gases inalados.

UNITERMOS - APARELHO DE ANESTESIA; EQUIPAMENTOS: Sistema Respiratório, absorvedor de CO₂

Torres MLA, Carvalho JCA, Bello CN, Cremonesi E, Mathias RS - Sistemas Respiratórios Valvulares con Absorción de CO₂: Capacidad de Calentamiento e Humidificación de los Gases Inhalados en tres Tipos de Montajes Utilizados en Aparatos de Anestesia en Brasil

Justificativa y Objetivos - La humidificación y el calentamiento del gas inhalado em pacientes entubados y traqueostomizados es un procedimiento necesario para la prevención de lesiones en el sistema respiratorio conseqüentes al contacto del aire frio y seco con las vias

aéreas inferiores. Mientras tanto, en procedimientos anestésicos no se observan cuidados para la climatización del aire inhalado. Entre las soluciones para el calentamiento e humidificación del gas en anestésias están la utilización de cambiadores de calor (nariz artificial), humidificadores calientes y ventilación con aparatos de anestesia dotados de sistemas respiratorios con absorbentes de CO₂. Estos últimos, por la simplicidad y seguridad, nos parecen ser la mejor forma de climatización de los gases que son inhalados por los pacientes. El objetivo de este estudio fue evaluar la influencia del flujo de gases frescos (FGT) en tres montajes de sistemas respiratorios utilizados en aparatos de anestesia nacionales, junto con la influencia del empleo de aislante térmico en los tubos arrugados del sistema respiratorio, sobre la climatización del aire inhalado.

Método - Fueron probados en un modelo experimental de ventilación pulmonar, tres posibilidades de montaje del sistema respiratorio del aparato de anestesia, que llamamos montajes A, B y C, para verificación de las alteraciones de la temperatura y humedad del gas inhalado y de la temperatura de la cal sodada en función de la variación del flujo de gases frescos (FGF). En el montaje B y C el FGF pasa por la cal sodada antes de llegar al ramo respiratorio; en el montaje A el FGF es admitido próximo al ramo inspiratorio. Repetimos las pruebas realizadas en el montaje B, solo que con tráqueas aisladas térmicamente, para evaluación de la conservación del calor y humedad en el sistema respiratorio.

Resultados - La temperatura de la cal fue influenciada por los FGF, siendo que FGF más bajos determinaron temperaturas más altas en el absorbedor. La temperatura ambiente no fue influenciada por los montajes y tampoco por los FGF empleados. La humedad absoluta del gas inhalado fue significativamente más alta en los montajes B y C, no habiendo diferencias entre ellas, y tampoco influencia del FGF utilizado. En el montaje A, FGF más bajos determinaron valores más altos de humedad en el aire inhalado. El empleo de aislante térmico en los tubos arrugados del montaje D fue eficiente para aumentar la temperatura y la humedad absoluta del gas inhalado.

Conclusiones - Indican los resultados que el empleo de tubos arrugados con aislante térmico y la opción por montajes mas eficientes (monta-

jes B y C) bien como la administración de bajos FGF, pueden producir mejoría significativa en la climatización de los gases inhalados.

REFERÊNCIAS

01. Clark RE, Orkin LR, Rovenstine EA - Body temperature studies in anesthetized man. Effect of environmental temperature, humidity and anesthesia system. JAMA, 1954;154:311-319.
02. Rashad K, Wilson K, Hurt HH et al - Effect of humidification of anesthetic gases on static compliance. Anesth Analg, 1967;46:127-133.
03. Chalon J, Loew DA, Malebranche J - Effects of dry anesthetic gases on tracheobronchial ciliated epithelium. Anesthesiology, 1972;37:338-343.
04. Nogushi H, Takumi Y, Aochi O - A study of humidification in tracheostomized dogs. Br J Anaesth, 1973;45:844-847.
05. Marfatia S, Donahoe P, Hendrin W - Effect of dry and humidified gases on the respiratory epithelium in rabbits. J Pediatr Surg, 1975;10:583.
06. Tsuda T, Nogushi H, Takumi Y et al - Optimum humidification of air administered to a tracheostomy in dogs. Br J Anaesth, 1977;49:965-976.
07. Ferrus L, Guenard H, Vardon G et al - Respiratory water loss. Resp Physiol, 1980;39:367-381.
08. Shelly MP, Lloyd GM, Park GR - A review of the mechanisms and methods of humidification of inspired gases. Intens Care Med, 1988;14:1-9.
09. Shelly MP - Inspired gas conditioning. Respiratory Care, 1992;37:1070-1080.
10. Mackuanying N, Chalon J - Humidification of anesthetic gases for children. Anesth Analg, 1974; 58:387-391.
11. Chalon J, Ali M, Ramanathan S - The humidification of anesthetic gases: its importance and control. Can Anaesth Soc J, 1979;26:361.
12. Kleemann PP - Humidity of anaesthetic gases with respect to low flow anaesthesia. Anaesth Intens Care, 1994;22:396-408.
13. Weeks DB, Broman KE - A method of quantitating humidity in the anesthesia circuit by temperature control: Semiclosed circle. Anesth Analg, 1970; 49:292-296.
14. Chalon J, Kao ZL, Dolorico VN et al - Humidity output of the circle absorber system. Anesthesiology, 1973;38:458-465.

15. Bengtson JP, Bengtson A, Stenqvist O - The circle system as a humidifier. *Br J Anaesth*, 1989;63:453-457.
16. Flynn PJ, Morris LE - Inspired humidity in anaesthesia breathing circuits: comparison and examination of effect of Revell circulator. *Can Anaesth Soc J*, 1984;31:659-663.
17. Chalon J, Markham JP, Ali MM et al - The Pall Ultipor Breathing Circuit Filter - An efficient heat and moisture exchanger. *Anesth Analg*, 1984; 63:566-570.
18. Bickler PE, Sessler DI - Efficiency of airway heat and exchangers in anesthetized humans. *Anesth Analg*, 1990;71:415-418.
19. Hedley RM, Allt-Graham J - Heat and moisture exchangers and breathing filters. *Br J Anaesth*, 1994;73:227-236.
20. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Aparelho de anestesia - Secção de fluxo contínuo: NB1727. Rio de Janeiro, 1988; 50 p.
21. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistemas respiratórios - I-Sistemas com absorvedores: Projeto 04:012.06-012. Rio de Janeiro, 1991. 21 p.
22. Ingelstedt S, Toremalm NG - Aerodynamics within the larynx and trachea. Indications for vapour therapy in acute laryngo-tracheitis. *Acta Otolaryngol (Suppl)*, 1956;158:81-92.
23. Chamney AR - Humidification requirements and techniques. Including a review performance of equipment in current use. *Anaesthesia*, 1969;24: 602-617.
24. Déry R - The evolution of heat and moisture in the respiratory tract during anaesthesia with a non-rebreathing system. *Can Anaesth Soc J*, 1973;20: 296-309.
25. Mebius C - A comparative evaluation of disposable humidifiers. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1983; 27:403-409.
26. Dorsch JA, Dorsch SE - Understanding Anesthesia Equipment Construction, Care and Complications. 3ª Ed, Baltimore, Williams & Wilkins, 1994; 239-253.
27. Mushin WW, Rendel-Baker L, Thompson PW et al - Automatic ventilation of the lungs. 3ª Ed, Oxford Blackwell Scientific Publications, 1980; 132-151.
28. Bengtson JP, Sonander H, Stenqvist - Preservation of humidity and respiratory gases during anaesthesia - a laboratory investigation. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1987;31:127-131.
29. Rayburn RL, Watson RL - Humidity in children and adults using the controlled partial rebreathing anaesthesia method. *Anesthesiology*, 1980;52:291-295.
30. Aldrete JA, Cubillos P, Sherrill D - Humidity and temperature changes during low flow and closed system anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1981;25:312-314.
31. Mushin WW, Jones PL - Physics for the Anesthetist. 4ª Ed, Oxford, Blackwell Scientific Publications, 1987;125-130.
32. Chalon J, Patel C, Ramanathan S, Turndorf H - Humidification of the circle absorber system. *Anesthesiology*, 1978;48:142-146.
33. Eger EI, Ethans CT - The effects of inflow, overflow and valve placement on economy of the circle system. *Anesthesiology*, 1968;29:93-100.
34. Lin GY, Mostert JW, Benson DW - Closed circle system: A new direction in the practice of anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand*, 1980;24:354-361.
35. Zbinden AM, Feigenwinter P, Hutmacher M - Fresh gas utilization of eight circle systems. *Br J Anaesth*, 1991;67:492-499.
36. Bissonnette B, Sessler DI, Laflamme P - Passive and active inspired gas humidification in infants and children. *Anesthesiology*, 1989;71:350-361.
37. Ehrenwerth J, Eisenkraft JB - Anesthesia Equipment, Principles and Applications. 1st Ed, St. Louis, MO, Mosby-Year Book, 1993;172-197.