

Anestesia com fluxo basal de gases (Quantitativa)

Low Flow Anesthesia (Quantitative)

Neuber Martins Fonseca¹, Dalmo Garcia Leão², Deborah Gomes Félix³, Gabriel Gondim Fonseca⁴, Beatriz Lemos Da Silva Mandim⁵, Roberto Araújo Ruzzi⁵, Neise Apoliany Martins⁶, Paulo Ricardo Rabello de Macedo Costa⁶

RESUMO

O baixo fluxo de gases é técnica racional de utilização de gases anestésicos proporcional ao paciente, com otimização do vapor anestésico empregado. Permite previsão do volume anestésico utilizado, conservação do calor corporal e umidificação dos gases administrados, economia de agentes anestésicos e monitorização de parâmetros fisiológicos. Este trabalho faz estudo e aplicação prática da anestesia com fluxo basal de gases (quantitativa), apresentando conceitos e aplicações como concentração alveolar mínima (CAM) e concentração de manutenção da anestesia (CoMA), coeficiente de partição sangue-gás (IBG), número de Brody (Kg 0,73), “prime” ou “dose prima” ou “volume inicial” ou “volume de saturação”, constante de tempo e captação tecidual (Ct) de anestésico. Diferentes técnicas para realização da técnica são apresentadas, como administração de anestésico líquido no ramo expiratório de anestesia, por seringa ou bomba de infusão ou vaporizador universal tipo *kettle*.

Palavras-chave: Anestesiologia/instrumentação; Anestesiologia/métodos; Técnicas; Anestesia por Inalação; Anestésicos; Anestésico/administração & dosagem; Equipamentos Cirúrgicos.

ABSTRACT

Low flow anesthesia is a rational technique to proportionally use anesthetic gases inhaled by the patient, optimizing the anesthetic steam employed. It allows predicting the anesthetic volume employed, maintaining the body temperature and humidifying the gases administered, saving on anesthetic agents and monitoring physiological parameters. This work studies and practical application of low flow anesthesia (quantitative) presenting concepts and applications such as minimum alveolar concentration (MAC) and concentration to maintain anesthesia (CoMA), blood-gas partition coefficient (BGPC), Brody number (Kg 0.73), “prime” or “prime dose” or “initial volume” or “saturation volume”, time constant and tissue anesthetic uptake. Different ways to employ the technique are presented, such as administering a liquid anesthesia in the expiratory branch of the anesthesia circuit with a syringe or an infusion bomb, or with a universal anesthetic vaporizer similar to a kettle.

Key words: Anesthesiology/instrumentation; Anesthesiology/methods; Techniques; Anesthesia, Inhalation; Anesthetics; Anesthetics/administration & dosage; Surgical Equipment.

INTRODUÇÃO

O grande momento da história da anestesiologia é marcado pela incrível situação em que o dentista Wilian Thomas Green Morton administrou éter ao impressor Edward Gilbert Abbott, para exérese de tumor mandibular pelo cirurgião Jonh

¹TSA/SBA. Professor Adjunto Doutor de Anestesiologia do Departamento de Clínica Cirúrgica e Responsável pelo CET-SBA da Disciplina de Anestesiologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Uberlândia, MG – Brasil.

²TSA/SBA. Co-responsável do CET Hospital Regional da Asa Norte Brasília (HRAN) – Brasília, DF – Brasil.

³Médica em Especialização em Anestesiologia do 2o ano do CET/SBA da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Uberlândia, MG – Brasil.

⁴Graduando do Curso de Medicina da Universidade Nove de Julho – São Paulo, SP – Brasil

⁵TSA/SBA Co-responsável pelo CET/SBA da Universidade Federal de Uberlândia, MG – Brasil.

⁶TSA/SBA, Instrutor do CET/SBA da Universidade Federal de Uberlândia, MG – Brasil.

Instituição:

Serviço de Anestesiologia (CET/SBA) da Universidade Federal de Uberlândia em conjunto com o CET Hospital Regional da Asa Norte Brasília e com a Universidade Nove de Julho

Endereço para correspondência:

Neuber Martins Fonseca
Rua Antônio Luiz Bastos, 300
Bairro: Morada da Colina
CEP: 38.401-116
Uberlândia, MG – Brasil
E-mail: neuber.mf@netsite.com.br

Collins Warren, na manhã de 16 de outubro de 1846, no Massachusetts General Hospital, em Boston.

O século XX avançou na anestesiologia com o aprimoramento de técnicas, medicamentos e monitorização em busca da segurança e qualidade pela magia do controle no adormecer e despertar do paciente, bem como no alívio do sofrimento causado pela dor durante o perioperatório. Existia, porém, no ambiente cirúrgico, “pavor” pelo risco de fogo e explosões produzidos pelo uso de gases anestésicos, que traziam alívio ao paciente, mas ao custo de riscos de acidentes, como explosão do ambiente cirúrgico. Esse risco foi abolido com a introdução de anestésicos halogenados, trazendo, porém, outras repercussões, como o aumento do custo gerado pelo desenvolvimento tecnológico-farmacêutico, além do risco da poluição no ambiente cirúrgico, de efeitos controversos entre o verdadeiro e o imaginário, produzido pelos agentes anestésicos.

O uso do baixo fluxo de gases é provavelmente uma das técnicas mais racionais de utilização de agentes anestésicos inalatórios, administrando volumes adequados para o paciente ser anestesiado, com otimização de todo o vapor anestésico gerado pelo sistema de vaporização e sem desperdício para um sistema de exaustão ou eliminado na própria sala. É eficiente com técnica de controle de poluição da sala de cirurgia, que pode ser empregada ao agregar uma série de benefícios. Além de utilizar fluxo basal de gases, ou seja, o necessário ao paciente anestesiado, permite melhor previsão do volume anestésico utilizado, conservação do calor corporal do paciente anestesiado, umidificação dos gases administrados, economia significativa do consumo de agentes anestésicos e monitorização de parâmetros fisiológicos como consumo do oxigênio, débito cardíaco, produção de dióxido de carbono, ventilação alveolar e necessidades de líquidos. Como exemplo, nota-se que variações no consumo de oxigênio podem indicar alterações diretas do débito cardíaco. Além disto, a umidificação dos gases que ocorre no sistema durante o percurso da anestesia diminui a possibilidade de formação de substâncias tóxicas durante a absorção de dióxido de carbono pela cal sodada, por dificultar a absorção do anestésico para o interior do grânulo de cal, pela presença de água na cal em proporção adequada. Desta forma, com técnica de fluxo basal de gases o anestesiologista mantém a fisiologia corporal e controla com facilidade a função pulmonar e cardiovascular na cabeceira do paciente.

Embora sejam comprovadas e amplamente difundidas as vantagens oferecidas pela técnica do fluxo basal de gases, a propagação do método como rotina entre as técnicas anestésicas encontra obstáculos diversos, primeiramente pela divergência no conceito de fluxo baixo de gases ou mínimo fluxo de gases e por ser considerada por muitos como complexa na execução.

Ao ser pouco realizada pelos anestesiologistas, observa-se que possa estar relacionada à falta de adequado treinamento e falsos conceitos de dificuldades técnicas e ao conceito da excessiva atenção necessária aos intervalos de tempo, principalmente com a técnica de injeções intermitentes de anestésico líquido no ramo expiratório do sistema de inalação, em que se postula que a atenção deva ser redobrada, em decorrência da injeção de anestésico em curtos intervalos de tempo, somada a manipulações demasiadamente frequentes da seringa de injeção, principalmente durante os primeiros intervalos da anestesia.

Diante das dificuldades para a administração dos agentes anestésicos, as opções para anestesia com fluxo basal de gases têm se multiplicado, diferenciando-se basicamente pelo método, a saber, uso de vaporizadores tipo *copper-kettle*, calibrado ou universal, ou pela diferenciação nos tempos abordados no emprego do anestésico. A administração contínua de líquido anestésico por bomba de infusão em substituição a vaporizadores apresentou avanços na técnica, facilitando a quantificação do consumo e as necessidades clínicas, reduzindo, assim, os atropelos de cronometragem a curtos intervalos de tempo e cálculos matemáticos, considerados fatores limitantes.

Os conceitos úteis para a implantação e orientação na administração de anestesia com fluxo basal de gases serão apresentados, assim como as vantagens auferidas pela técnica, que demonstra segurança e simplicidade na execução.

HISTÓRIA DA ANESTESIA COM FLUXO BASAL DE GASES _____

A prática da anestesia com fluxo basal de gases iniciou-se com a descoberta e desenvolvimento de sistemas eficientes na absorção do dióxido de carbono. Investigações do processo para absorção do dióxido de carbono exalado iniciaram-se após a descoberta do CO₂, em 1754, por Joseph Black, mesmo antes do sucesso da administração anestésica. Em meados de 1850, John Snow utilizava hidróxido de

potássio com o objetivo de absorver o CO₂ de sistema fechado administrando clorofórmio como agente anestésico. Coleman, em 1868, desenvolveu sistema fechado de anestesia e administrou N₂O em três pacientes. No mesmo ano, Rendle descreveu o uso da técnica de Coleman em 74 pacientes submetidos a diferentes tipos de cirurgia para extração dentária, catarata ou estrabismo.

O início do século XX foi marcado pelo avanço de produtos eficientes como absorvedor de CO₂. Brindley e Forreger (1906) introduziram o peróxido de sódio. Benedict (1909) desenvolveu o mais sofisticado sistema da época para estudos metabólicos em humanos, utilizando cal sodada e espirômetro. O uso de sistema fechado para medida do metabolismo e consumo de oxigênio tornou-se, então, o método clínico de determinação da taxa de metabolismo basal por várias décadas.

A anestesia, nos primórdios do século XX, era praticada com fluxos de gases próximos de 12 litros por minuto, independentemente do tempo de cirurgia. Este foi um dos fatores que motivaram o desenvolvimento de equipamentos e técnicas que reduzissem o custo e tornassem viável a prática da anestesia geral. Dennis Jackson, em 1915, foi um dos precursores a utilizarem o dietiléter para anestésiar animais em sistema fechado, preocupado com o custo do procedimento e sendo pioneiro em mostrar cientificamente a redução drástica do custo da anestesia (9¢ por hora).

A aplicação prática da absorção de dióxido de carbono ocorreu em 1917, durante a Primeira Grande Guerra Mundial, com o desenvolvimento dos grânulos de 4 a 8 mesh por Wilson *et al.* para o uso em máscaras de gás. Em 1924, Ralph Waters desenvolveu o sistema vaivém e empregou com sucesso agente anestésico potente. O sistema de Waters foi posteriormente abandonado devido ao efeito de reinalação de CO₂ por progressivo aumento do espaço morto relacionado ao consumo da cal sodada.

O desenvolvimento do ciclopropano, em 1933, conjuntamente com a melhora da eficiência da cal sodada, caníster, fluxômetros e circuitos, resultou na popularização do circuito fechado de anestesia.

A introdução do halotano em 1956, por Raventos, foi marcada por fortes mudanças na anesthesiologia. Sendo agente extremamente potente, necessitava de administração com vaporização precisa, evitando os graves acidentes que mascaram o início da utilização dos halogenados. O uso do halotano como anestésico líquido em sistema fechado foi feito em 1960, por

Romagnoli, Cohen e Diamond, que modificaram o sistema de “gota a gota” desenvolvido por Goldman para administração do éter. Esse estudo foi aperfeiçoado por Hampton e Flickinger, em 1961, que utilizam a injeção intermitente de halotano líquido no sistema circular de anestesia. Em 1973, Weingarten e Lowe descreveram a técnica da injeção de anestésico líquido no ramo expiratório do sistema circular de anestesia, considerando que a quantidade cumulativa de anestésico relacionava-se com a raiz quadrada do tempo.

A anestesia com fluxo basal de gases, também denominada anestesia quantitativa, foi introduzida no Brasil por Silva *et al.*¹, em 1981. A partir daquela data surgiram vários trabalhos simplificando a proposta inicial e avaliando suas aplicabilidades clínicas, confirmando sua segurança e praticidade. As dificuldades práticas que limitavam o uso rotineiro dessa técnica, principalmente a quantificação anestésica, com cálculos matemáticos e cronometragem, iniciaram com estudos mostrando a simplicidade da técnica com o uso do vaporizador universal tipo *kettle*, ao facilitar a administração de anestésicos em fluxos basais, associado à anestesia quantitativa com intervalos duplos (LEÃO *et al.*, 1987), reduzindo os atropelos iniciais da anestesia, principalmente na indução (LEÃO; VIEIRA; MELO, 1988). Vários estudos mostraram a eficácia da técnica. Pesquisas mais recentes propostas por Fonseca *et al.* (1997) e Leão *et al.* (1998) apresentaram a possibilidade da substituição da vaporização anestésica por administração de anestésico líquido no ramo expiratório do circuito, porém, nestes, utilizando bomba de infusão com doses fixas de volume anestésico.

CONCEITOS E DEFINIÇÕES

Classificações dos fluxos na anestesia inalatória

A anestesia inalatória pode ser classificada, quanto ao fluxo², em *alto fluxo*, *fluxos intermediários* e *fluxo basal*. Foldes, em 1954, estabeleceu o conceito de baixos fluxos como sendo o fluxo de admissão de gases 1 L.min⁻¹. Virtue, em 1974, estabeleceu outro importante conceito de fluxos mínimos em que o fluxo de admissão de gases frescos (FAG) era de 0,5 l.min⁻¹. Conceitos genéricos para fluxos de gases passaram a considerar altos fluxos quando o FAG é superior ao

volume-minuto e fluxos basais quando corresponder ao consumo basal do paciente. Os fluxos intermediários situam-se entre esses dois valores. Nos países de língua inglesa, é chamado *low flow* (baixo fluxo) o FAG inferior a 50% do volume-minuto e *minimal flow* o fluxo basal³.

Concentração alveolar mínima (CAM) e concentração de manutenção da anestesia (CoMA)

“A concentração alveolar do anestésico inalatório a 1 atm que produz imobilidade em 50% dos pacientes expostos a um estímulo doloroso” é chamada de CAM^{4,5}. Por questões práticas e clínicas, foi adotada CAM expandida⁶ ou CAM₉₅, que é um índice mais alto de concentração alveolar capaz de bloquear a resposta ao estímulo doloroso e manter imóveis 95% dos pacientes e corresponde a 1,3 CAM (Tabela 1).

A concentração de manutenção da anestesia em sistema fechado (CoMA)⁷ é aquela que mantém a anestesia em condições estáveis (variação de ± 20% da pressão arterial sistólica). A CoMA do enflurano (1,27) é bem inferior à sua CAM, aproximando-se daquela do halotano (0,84) e do isoflurano (1,04).

Coefficiente de partição sangue-gás (λBG)

A membrana alveolar permite a passagem dos anestésicos voláteis ou gasosos através de sua intimidade. Em situação de equilíbrio, a razão entre as concentrações no sangue capilar pulmonar e o alvéolo corresponde ao λ_{B/G}⁸ (Tabela 1).

Se a concentração alveolar do anestésico é 1,3 CAM, então a concentração no capilar pulmonar (C_{cp}) é:

$$C_{cp} = 1,3CAM \cdot \lambda_{BG} \quad (F1)$$

O λ_{B/G} é diretamente proporcional ao tempo de indução e recuperação da anestesia. Os anestésicos com baixo λ_{B/G} apresentam baixa solubilidade sanguínea e são facilmente liberados para o cérebro. Aqueles com alta solubilidade, como éter e metoxiflurano, “fixam-se” no sangue e são dificilmente liberados para o cérebro e, conseqüentemente, a indução e a recuperação anestésica são prolongadas.

Número de Brody (Kg^{0,73})

Brody⁹, veterinário, estudou o consumo de oxigênio de vários animais, desde o pequeno camundongo ao elefante, e encontrou como fator comum que todos consomem, em condições basais, oxigênio na proporção de 10.kg^{0,73}, sendo kg correspondente ao peso em quilogramas.

O princípio de Fick^{8,10} mostra que o débito cardíaco (Q) corresponde ao consumo basal de O₂ (VO₂) pela diferença artério-venosa de O₂ (D[a-v]O₂). Essa é aproximadamente 5 mL de O₂.dL-1. Assim, o débito cardíaco em dL.min-1 é:

$$Q = 10 \cdot Kg^{3/4} \text{ (mL.min}^{-1}\text{)} \cdot (5 \text{ mL.dL})^{-1} = 2 \cdot Kg^{3/4} \text{ dl} \cdot \text{min}^{-1}$$

(F2)

A produção basal de CO₂ corresponde a 80% do consumo de O₂ (coeficiente respiratório 0,8) resultando em 8 kg^{3/4}mL.min⁻¹.

Tabela 1 - Características farmacológicas dos anestésicos halogenados

	Halotano	Enflurano	Isoflurano	Sevoflurano	Desflurano	N ₂ O
CAM	0,76	1,68	1,15	2,0	6,0	103
CoMA	0,84	1,27	1,04			
λB/G	2,3	1,91	1,43	0,6	0,42	0,47
PM	197	184	184	200	168	44,02
EBULIÇÃO	50,2	56,5	48,5	58,5	23,5	- 88,5
DENSIDADE	18,6	1,52	1,49			1,5

CAM – Concentração alveolar mínima
 CoMA – Concentração de manutenção da anestesia em sistema fechado
 λB/G – Solubilidade sangue/gás
 PM – Peso molecular

“Prime” ou “dose prima” ou “volume inicial” ou “volume de saturação”

Para a anestesia quantitativa e com baixos fluxos, é necessário sistema circular de anestesia com absorvedor de CO₂ dos gases expirados. O sistema vaivém de Ralph Waters (1924) foi abandonado por aumento do espaço morto proporcional ao tempo de anestesia e aquecimento exagerado da cal sodada. Recentemente, propõe-se seu uso com pequeno canister de cal sodada¹¹.

O sistema de anestesia e o sistema respiratório devem saturar inicialmente com volume anestésico para que a concentração alveolar seja mantida constante (“prime”)^{8,12}. Esse valor corresponde ao produto do seu volume (Vol_{sist}) em dL ajustado para 1,3 CAM.

$$P_{sist} = Vol_{sist} \cdot 1,3 \text{ CAM} \quad (F3)$$

$$P_{crf} = CRF \cdot 1,3 \text{ CAM} \quad (F4)$$

Se forem considerados a soma do conjunto sistema e a capacidade residual funcional (CRF) com volume médio de 90 dL, tem-se, para o halotano, P_{sist} = 1,3 x 0,76 mL.dL⁻¹ x 90 dL = 89 mL vapor.

O “prime” sanguíneo⁸ (PS) corresponde ao volume de anestésico dissolvido no sangue em condições estáveis, proporcionando concentração cerebral constante. O volume sanguíneo corresponde aproximadamente ao valor do débito cardíaco. Assim, se em concentração alveolar de 1,3 CAM e proporcionalmente concentração no capilar pulmonar de 1,3 CAM. λ_{B/G} que é carregada pelo débito cardíaco (2 kg^{3/4}), o PS é:

$$PS = 1,3 \cdot CAM \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4} \quad (F5)$$

Para um indivíduo de 70 kg o PS = 1,3 x 0,76 x 2.3 x 2 x 24,2 = 110 mL de vapor.

Em termos de técnica rotineira, esses cálculos são dispensáveis com exceção para o uso do N₂O em sistema totalmente fechado¹². A primeira dose na técnica da “seringa” funciona como prime1, bem como o bolus na técnica com bomba de infusão¹³.

As constantes de tempo (CT)

Em um sistema em que há entrada de fluido (líquido ou gás), que é misturado ao seu conteúdo e do qual sai parte da mistura, a relação volume/fluxo resulta em um número cuja unidade é tempo⁸:

$$CT = \text{Volume/fluxo e } CT = \text{mL}/(\text{mL}/\text{min}) = (\text{mL}/\text{mL}) \times \text{min} = \text{min}$$

(F6)

A CT é inversamente proporcional ao fluxo e corresponde ao tempo necessário para o acréscimo de 63,2% da nova substância ao sistema⁸, enquanto que 2 CTs correspondem a 86,5%, 3 CTs a 95,0% e 4 CTs a 98,2%.

Captação tecidual (C_t) de anestésico

Alguns tecidos saturam-se mais rapidamente, enquanto outros levam longo tempo. A CT de cada tecido é diferente e depende da capacidade de absorver anestésico (volume) e da rede vascular (fluxo). As vísceras apresentam baixas CTs, sendo a captação cerebral máxima até 16 min e quase nula após 20 min, enquanto que a captação nas gorduras é mantida por prolongado período.

A captação global é a soma de todas as captações. Essa característica permitiu a Lowe e Ernst⁸ criar um modelo que sugere que a captação tecidual (C_t) é proporcional à CAM, ao coeficiente de partição sangue-gás, ao débito cardíaco e inversamente proporcional à raiz quadrada do tempo.

$$C_t = 1,3 \text{ CAM} \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4} \cdot t^{-1/2} \quad (F7)$$

A fórmula F7 dá a captação tecidual instantânea do anestésico inalatório. O valor acumulado ao longo de determinado intervalo de tempo (Ca) é o resultado da integração da fórmula F7, resultando em:

$$Ca = 2(1,3 \text{ CAM} \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4}) \cdot t^{1/2} \quad (F8)$$

Os intervalos e consumo fixo

A fórmula (F8) pode ser aplicada no cálculo do volume consumido por intervalos de tempo, substituindo-se t pelos valores iniciais e finais, o que resulta em:

$$Ca(\text{intervalar}) = 2(1,3 \text{ CAM} \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4}) \cdot (t_f^{1/2} - t_i^{1/2})$$

(F9)

sendo t_f e t_i, respectivamente, os tempos finais e iniciais do intervalo. Se forem substituídos, respectivamente, t_f e t_i pelos valores 0 e 1, 1 e 4, 4 e 9, 9 e 16, etc., serão formados os intervalos 0 a 1, 1 a 4, 4 a 9, 9 a 16... min, que correspondem a períodos de captação igual (Figura 1).

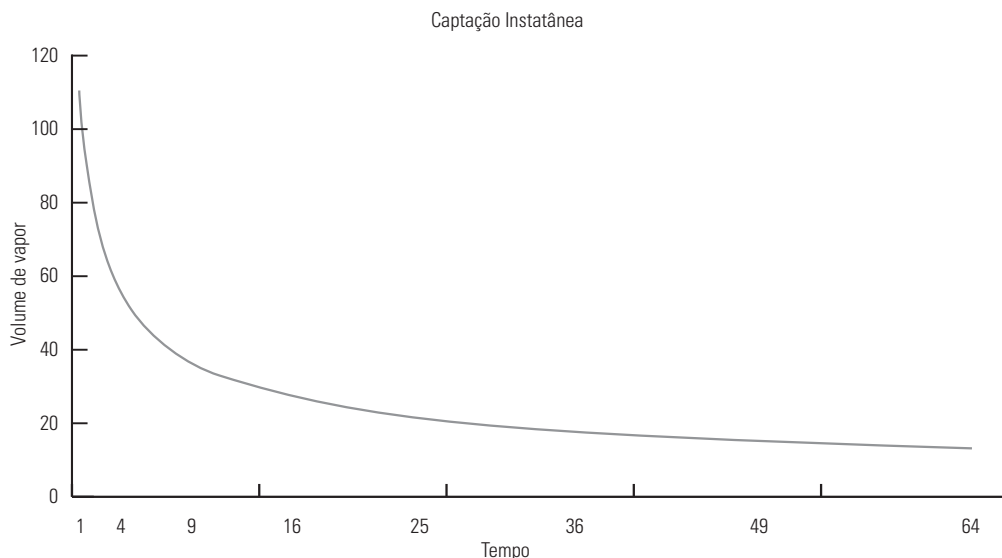


Figura 1 - Intervalos de consumos fixos de vapor anestésico (mL) em função do tempo (minutos).

O início de cada intervalo corresponde ao quadrado dos números naturais n^2 , em que n é um número natural (0, 1, 2, 3, 4, etc.), resultando o início dos intervalos em $0^2, 1^2, 2^2, 3^2, 4^2, \dots$. Cada intervalo cresce seguindo a fórmula $2n+1$ min, sendo, portanto, a duração dos intervalos, respectivamente, 1, 3, 5, 7, 9, ... Se forem considerados intervalos duplos: 0 a 4, 4 a 16, 16 a 36, cada intervalo terá duração de $8n+4$ min. Para os intervalos quádruplos: 0 a 16; 16 a 64; 64 a 144, a duração intervalar é de $32n+16$ min.

O conhecimento dessas variáveis matemáticas (Tabela 2) permitiu a formulação de diferentes técnicas para a anestesia com fluxo basal de gases.

O FLUXO DE ADMISSÃO DE GASES (FAG) —

O nitrogênio deve ser retirado do sistema respiratório e pulmonar no início da anestesia por processo de desnitrogenação.

Isto é possível usando-se alto fluxo de O_2 por alguns minutos durante a indução^{12,14}.

O sistema circular é fechado durante a manutenção da anestesia, o que permite a reinalação total de todos os gases e vapores expirados³, exceção feita ao CO_2 , que é absorvido pela cal sodada ou baritada. A desnitrogenação prévia permite manter FIO_2 acima de 0,21 com fluxo de O_2 correspondente ao consumo do paciente, aproximadamente $10.kg^{3/4}$. Nos baixos fluxos a válvula de exaustão é parcialmente aberta.

O uso de N_2O é possível, mas necessita de alto fluxo nos primeiros minutos da anestesia inalatória¹⁴ até ser alcançada a fracional desejada, quando o sistema é completamente fechado e reduz-se o fluxo para os valores calculados de N_2O e halogenado para o intervalo em questão (Tabela 3).

Tentativas de iniciar a administração de N_2O já com o sistema fechado são trabalhosas e exigem conhecimento profundo da farmacocinética desse gás, conforme mostra estudo prévio¹².

Tabela 2 - Esquema de raciocínio para o modelo de captação de anestésicos

Nomenclatura	Fórmula	Unidade
Concentração alveolar	$1,3 \cdot CAM$	mL de vapor.dL ⁻¹
Concentração no capilar pulmonar	$1,3 \cdot CAM \cdot \lambda_{B/G}$	mL de vapor.dL ⁻¹
Volume de vapor circulante	$1,3 \cdot CAM \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4}$	mL de vapor
Captação tecidual	$1,3 \cdot CAM \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4} \cdot t^{-1/2}$	mL de vapor.min ⁻¹
Captação tecidual acumulada	$2(1,3 \cdot CAM \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4}) \cdot t^{1/2}$	mL de vapor.min ⁻¹
Consumo por intervalo	$2(1,3 \cdot CAM \cdot \lambda_{B/G} \cdot 2Kg^{3/4}) \cdot (t_1^{1/2} - t_1^{1/2})$	mL de vapor

Tabela 3 - Doses e volumes de vapor para 0 a 4 minutos

FLUXO BASAL DE GASES									
		Enflurano		Isoflurano		Halotano		N ₂ O	
Relação líquido/vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor		
		1	210	1	206	1	240	–	–
Peso	Brody	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	“Prime”	0 a 4 min
35	14,3897	1,17	120	0,59	62	0,59	65	217	607
40	15,9054	1,29	133	0,65	68	0,66	72	241	675
45	17,3744	1,41	145	0,71	74	0,72	79	262	735
50	18,8030	1,53	157	0,77	80	0,78	85	285	798
55	20,1963	1,64	168	0,83	86	0,83	92	305	854
60	21,5582	1,75	180	0,89	92	0,89	98	326	913
65	22,8921	1,86	191	0,94	98	0,95	104	345	968
70	24,2005	1,97	202	0,99	103	1,00	110	367	1028
80	26,7496	2,18	223	1,10	114	1,11	122	405	1134
90	29,2201	2,38	244	1,20	125	1,21	133	443	1240
100	31,6228	2,57	264	1,30	135	1,31	144	479	1342

* Fonte: Acta Anaesthesiol Scand 1988; 32:516-521

Atenção à fonte de O₂ deve ser dada, visando descartar a presença de ar comprimido¹⁵. É mandatória a monitorização da concentração de oxigênio em todo o sistema quando do uso de O₂ proveniente de usinas concentradoras de oxigênio.

A VENTILAÇÃO PULMONAR NO BAIXO FLUXO DE GASES

A ventilação pode ser assistida ou controlada como em qualquer anestesia inalatória¹⁷. Observações devem ser consideradas em relação a vazamentos e, conseqüentemente, mais necessidades de FAG. Uma vez aumentada, mesmo que não seja mais considerada anestesia quantitativa ou com *fluxos basais*, pode ser caracterizada como *baixos fluxos de gases*. Assim sendo, é possível, ainda, utilizar os cálculos da anestesia quantitativa, uma vez que o grande volume do sistema tampona essa perda. Todavia, grandes vazamentos, principalmente aqueles que permitem fluxo de vapor em vaporizador calibrado, compatíveis com anestesia cirúrgica, já passam para *controle clínico* e a anestesia torna-se de *qualitativa*² e não *quantitativa*.

TÉCNICAS DE ADMINISTRAÇÃO DE ANESTÉSICO PARA ANESTESIA QUANTITATIVA

Anestesia quantitativa com seringa

A fórmula F9 permite o cálculo de doses fixas para intervalos que crescem em progressão aritmética (2n+1). Essa dose pode ser variável com o peso do paciente (Tabela 3 - coluna líquido) ou fixa¹⁹ (1 mL para paciente acima de 45 kg) e é injetada no ramo expiratório do sistema circular de anestesia, respectivamente, nos tempos 0, 1, 4, 9, 16, 25...

Na verdade, a F9 resulta em volume de vapor que deve ser dividido pela quantidade de vapor produzida por mililitro líquido resultando na dose de halogenado líquido encontrado na Tabela 3. O cálculo da relação vapor/ líquido é dado pela fórmula:

$$\text{mL vapor/mL líquido}^8 = \frac{\text{densidade} \times 22.400 \times (273 + ^\circ\text{C}) \times \text{PM}^{-1} \times 273^{-1}}{\text{densidade} \times 22.400 \times (273 + ^\circ\text{C}) \times \text{PM}^{-1} \times 273^{-1}} \quad (\text{F10})$$

O controle do plano anestésico pode ser “ajustado” por supressão de doses programadas ou por doses extras para cada intervalo¹⁹; ou por alteração intervalar que pode ser aumentado ou reduzido¹³; ou por modificação da dose programada e calculada.

Anestesia quantitativa com aparelhos computadorizados

Os avanços tecnológicos com estações de trabalho incorporam analisadores das concentrações inspiradas de CO₂, O₂, N₂O e halogenados, bem como de suas concentrações expiradas finais. Bombas controladas por computador podem instilar ou não pequenos fluxos de anestésico a cada inspiração, mantendo a F_i de gases e vapores sempre constante. Esses equipamentos operam com reduzida margem de erro em diferentes FAGs, fazendo automaticamente a manutenção da concentração expirada final desejada^{20,21}. Alguns incorporam mecanismo de controle do fluxo de O₂, impedindo que o sistema fique colapsado ou distendido pelos gases.

Anestesia quantitativa com intervalos duplos

Diferentemente do método com seringa, os instrumentos de liberação continuada de anestésico, entre eles o “*kettle*”, usam a fórmula F7. Esses aparelhos administram doses “instantâneas”²² continuamente. O valor do volume de vapor em mL.min⁻¹ calculado para o tempo 1 min é encontrado na Tabela 3 (coluna vapor). O valor de fluxo calculado para o tempo 1 min é administrado de zero a quatro min. No intervalo de quatro a 16 é administrado o fluxo calculado para nove min. Em termos gerais, cada intervalo é iniciado em tempos correspondentes aos números pares ao quadrado (0², 2², 4², 6², 8² ...) e o volume de vapor para cada intervalo calculado para os tempos correspondentes aos ímpares ao quadrado (1², 3², 5², 7², 9² ...), ou seja, divide-se respectivamente o valor da Tabela 3 por 1, 3, 5, 7, 9... (Figura 1).

Para ser administrado esse volume de vapor, deve ser utilizado vaporizador tipo “*kettle*”, cujo fluxo de oxigênio carreador é calculado multiplicando-se o fluxo de vapor desejado pela relação oxigênio/halogenado (Tabela 4).

O controle clínico é feito aumentando ou reduzindo, pelo tempo necessário, o fluxo de borbulhamento previsto.

Exemplificando, um indivíduo de 70 kg deve receber 110 mL de vapor no intervalo de zero a quatro min.

A 22°C serão colocados 180 mL de O₂ carreador no fluxômetro do “*kettle*” para evaporar essa quantia até o final do intervalo. Entre quatro e 16 min serão usados 180/3 = 60 mL de O₂ no fluxômetro do “*kettle*”. O próximo intervalo vai de 16 a 36 min e basta dividir 180/5. Naturalmente, a temperatura do líquido pode baixar durante o processo e o valor de 180 deve ser revisto pela Tabela 4.

A Tabela 3 apresenta também o fluxo de N₂O para o intervalo de zero a quatro min¹². Para os demais intervalos aquele valor é dividido respectivamente por 3; 5; 7; 9; etc.

Anestesia quantitativa com vaporizadores universais (*não kettle*)

O vaporizador não calibrado universal²³ pode ser usado em anestesia quantitativa. Para cada intervalo duplo de tempo (Figura 1), procura-se administrar o volume padrão com aumento ou redução do borbulhamento para ser conseguido esse consumo. Exemplificando, para um paciente de 70 kg são esperados borbulhar 2 mL de halotano de zero a quatro min. Se antes desse tempo são evaporados 2 mL, o dial do vaporizador é fechado, enquanto é aguardado o fim do intervalo e reaberto com menos borbulhamento. Por outro lado, se parece pouco anestésico evaporado, antes do fim do intervalo o borbulhamento é aumentado na tentativa evaporar os 2 mL até os quatro min. A cada intervalo a seguir o borbulhamento deve ser menor, uma vez que cada intervalo cresce 8n+4 min e o consumo esperado é o mesmo, de 2 mL.

Anestesia quantitativa com bomba de infusão

As bombas de infusão podem ser usadas na anestesia quantitativa^{13,24}. É necessário apenas um conector da seringa ao circuito de anestesia. Foi criado um modelo-padrão que funciona bem com halotano¹³, isoflurano²⁵ e enflurano²⁶. Após a IOT, é dado um *bolus* via bomba de 1 mL no tempo zero seguido por infusão contínua de 15 mL.h⁻¹ por 16 min de bomba. O próximo intervalo corresponde a 48 min de bomba ou 16 a 64 min de anestesia quando é administrado fluxo de 5 mL.h⁻¹.

Tabela 4 - Relação halogenado/fluxo de O₂ carreador.

Temperatura	18	20	22	24	26	28	30
Isoflurano	1:2,5	1:2,2	1:1,9	1:1,7	1:1,4	1:1,2	1:1,1
Halotano	1:2,4	1:2,1	1:1,8	1:1,7	1:1,5	1:1,3	1:1,1
Enflurano	1:3,8	1:3,3	1:3,0	1:2,6	1:2,4	1:2,1	1:1,8

* Fonte: Rev Bras Anesthesiol 1987; 37: 2: 89-95

Para o terceiro intervalo, é programado fluxo de 3 mL.h⁻¹, correspondendo ao período de 64 a 144 min (80 min. de bomba). No restante do ato anestésico, é administrado fluxo de 3mL.h⁻¹ se a pressão arterial sistólica (PAS) esteve previamente entre a basal e 15% mais baixa; ou 2 mL.h⁻¹ se a PAS manteve-se *previamente* entre 15 e 30% abaixo da basal. Define-se como basal a menor pressão arterial verificada no pré-anestésico e na sala de cirurgia. O total programado para cada intervalo é de 4 mL (é somado 1 mL ao primeiro intervalo referente ao “*bolus*” inicial), soando-se o alarme em cada final de infusão. Novo “*bolus*” é dado se houver necessidade de doses suplementares ou a bomba é colocada em espera (*stand by*) se houver necessidade de superficialização da anestesia. Esse esquema padrão pode ser aplicado a qualquer paciente acima de 45 kg e aos três halogenados, halotano, isoflurano e enflurano, podendo ser associados fentanil e relaxantes musculares.²⁵

Anestesia quantitativa com vaporizador calibrado^{1,27}

Como foi dito anteriormente, a anestesia com fluxos basais é mais bem praticada pensando-se em fluxo de vapor, diferentemente de concentração, usual no alto fluxo. Os vaporizadores calibrados apresentam concentração máxima limitada. Assim, para um paciente de 70 kg anestesiado com halotano puro, o fluxo basal de O₂ é: $FBO_2 = 10. kg^{3/4} = 242 mL.min^{-1}$. Com o dial do vaporizador em 5%, o fluxo de vapor é: $Fvap = 242 mL.min^{-1} \cdot 5\% = 12,1 mL.min^{-1}$, que corresponde ao intervalo 64 a 100 min, isto é, 110/9=12,2. Antes disto, a anestesia com vaporizador calibrado e halotano puro só é possível com baixos fluxos. Associando-se N₂O a 66%, a administração prevista de halogenado é reduzida à metade bem como se soma ao fluxo de O₂ (no exemplo 242 mL.min⁻¹) o fluxo do N₂O (para 70 kg é 1.028 de zero a quatro min), o que resulta volume suficiente para vaporizar o halogenado necessário. No exemplo, 1.028+242=1.270, que permite evaporar 1.270 x 5% = 63,5 mL vapor de halotano (são necessários 55 mL, metade da Tabela 3I). Todavia, quando é associado N₂O, é obrigatório monitorar a FiO₂ e, se possível, a FiN₂O e a FETN₂O; e os aparelhos modernos não permitem proporção de N₂O:O₂ superior a 75%.²⁷

ALTERNÂNCIA ENTRE ANESTESIA QUANTITATIVA E ALTO OU BAIXO FLUXO

O alto fluxo permite alterações rápidas das concentrações alveolares, por ter CT pequena, com valores próximos entre a concentração no FAG e no alvéolo. No sistema fechado, por outro lado, as CTs são longas e são calculados os volumes de vapor, não a concentração administrada, podendo a concentração no FAG ser muito superior à alveolar (Ex: 31% para 1%).

Os sistemas computadorizados adaptam-se automaticamente às mudanças de fluxo. Quando é usada a técnica da “seringa”, “*kettle*”, bomba de infusão, passa-se a altos (ou baixos) fluxos, abrindo-se o vaporizador na concentração desejada e elevando-se o FAG. Para alternar de alto fluxo para fluxos basais, é suficiente usar as doses do intervalo desejado e fechar o sistema.

A ANESTESIA QUANTITATIVA E AS NOVAS DROGAS ANESTÉSICAS

O uso de sistema fechado reduz o custo da anestesia inalatória. O xenônio²⁸ e os novos halogenados como o sevoflurano e o desflurano são de alto custo e se beneficiam com técnicas que reduzem o seu consumo.

O xenônio é um gás nobre introduzido na anestesia há mais de 50 anos. Todavia, por ser um gás raro (nobre), é difícil coletá-lo em grandes volumes, o que resulta em elevado custo. Sistemas de baixo fluxo têm sido tentados²⁸, cujo xenônio é usado em concentrações de 65 a 72%, com resultados satisfatórios.

O sevoflurano é decomposto parcialmente pela cal sodada. O produto mais importante dessa decomposição, o “composto A” (CF₂=C(CF₃)-O-CH₂F), é passível de causar necrose córtico-medular renal em ratos e tem sido alvo de vários estudos de segurança em humanos^{29,30}. Alternativa à cal sodada tradicional como filtros de CO₂³¹ (molecular Sieves) ou cal sodada hiperidratada³² reduzem as concentrações do composto A, conferindo segurança à técnica de baixo fluxo de gases.

O desflurano tem sido usado em anestesia com baixos fluxos³³. Em anestesia quantitativa está em fase experimental. Aparelhos mais sofisticados, computadorizados permitem melhor uso da técnica.³³

ANESTESIA COM “BAIXOS FLUXOS”

De modo semelhante à anestesia com fluxos basais, a anestesia com “baixos fluxos” necessita de um sistema com absorvedor de CO₂. Este pode ser um sistema circular ou vaivém com canister pequeno.¹⁶

O sistema circular valvular unidirecional com absorvedor de CO₂ é mais bem empregado para essa técnica. Como visto anteriormente, o conjunto CRF-sistema-circular tem volume aproximado de 9.000 mL. Pequeno FAG resulta em elevada constante de tempo. Exemplificando, para um indivíduo com 70 kg e consumo basal de 242 mL de O₂, usando sistema fechado, a $CT=9.000/242=37$ min. Se aumentar o FAG para 1.000, sua constante de tempo será de $CT=9.000/1.000=9$ min e o sistema agora deve estar com a válvula de exaustão operando normalmente. Nota-se, desses dois exemplos, que a redução do FAG exige mais concentração para a mesma concentração final do sistema, e vice-versa. O FAG de 242 mL de O₂ + 110 mL de vapor de halotano corresponde à concentração de 31,3% ($100 \times 110 / 352$) de halotano.

Baixos fluxos com FAG, duas ou até três vezes superiores ao consumo basal, podem ser similares às mesmas doses para seringa, *kettle*, vaporizador universal ou bomba de infusão. A perda via válvula de exaustão ou vazamentos é de aproximadamente 5% e não tem muita repercussão clínica. Quando o FAG é aumentado para valores que causam perda superior a 10%, esta deve ser compensada de modo semelhante à anestesia com altos fluxos, mas com concentração mais elevada na saída do vaporizador e por mais tempo para compensar a alta CT.

O uso de analisadores de gases permitindo conhecer a concentração expirada final do anestésico simplifica todos os cálculos.

A RECUPERAÇÃO DA ANESTESIA

A maioria dos anestesiológicos quando usa alto fluxo coloca o dial do vaporizador em zero alguns minutos antes do término da cirurgia. A baixa CT da anestesia com *alto fluxo* justifica essa conduta. Com a anestesia com *fluxos basais*, o procedimento apresenta duas etapas justificadas pela alta CT do método. Em primeiro lugar, entre 15 e 30 minutos antes do término da cirurgia é fechado o fluxo de anestésicos (ou excluídas as doses com seringa), mantendo-se o sistema fechado. Nas cirurgias intra-abdominais pode ser fechado o fluxo de anestésico no final do fechamento do peritônio parietal. A alta CT do sistema é justificada pela reinalação cons-

tante dos gases e vapores expirados (exceção feita ao CO₂), que permite a manutenção da anestesia por algum tempo. Em segundo lugar, terminado o ato cirúrgico, a válvula de exaustão (*pop off*) é aberta e o fluxo de O₂ elevado para valores acima de 6 L.min⁻¹. Este, livre de anestésicos, lava o sistema e reduz a concentração alveolar de halogenados. Uma segunda opção, nessa etapa, é a troca do sistema circular por um sistema *sem reinalação* que apresenta CT próxima de zero e, portanto, facilita a eliminação dos anestésicos do paciente. Aqui vale o conceito de CAM_{acordada} (MAC_{awake}), que equivale a 0,6 CAM e corresponde à concentração alveolar em que 50% dos pacientes acordam. Esse conceito é semelhante para *fluxos alto, intermediário e basal*.

O *baixo fluxo* tem de peculiar CT intermediária entre *fluxo alto e basal* e, portanto, permite mais tempo de “vaporizador desligado” em relação ao alto fluxo.

POR QUE USAR ANESTESIA QUANTITATIVA?

Devido às vantagens superiores às desvantagens do método.

As vantagens são de redução acentuada da poluição ambiental e da exposição ocupacional, manutenção da umidade dos gases inalados e redução da perda de calor^{34,35}, redução do risco quando do uso de anestésico explosivo, boa estabilidade, economia e controle programado da anestesia com medida real da captação de anestésicos (medida direta na técnica da seringa e na técnica com bomba de infusão). Permite também a monitorização do consumo de oxigênio, indicando que, com o alto consumo, pode ser que esteja havendo manifestação clínica de hipertermia maligna, hipertireoidismo, hipercatecolaminemia, febre ou mesmo estar ocorrendo vazamento no sistema utilizado. Diante de quadro com consumo baixo, algumas situações poderiam estar acontecendo, como anestesia profunda, hipotireoidismo, intoxicação por CO, cianureto, etc. ou choque.

A técnica de anestesia quantitativa também facilita a monitorização indireta do débito cardíaco, seja pelo método de Fick ou por dedução a partir do consumo de O₂. Monitoriza o sistema identificando vazamentos para dentro do sistema circular, via fole (entrada de O₂ ou ar comprimido)²¹, via válvula de O₂ direto; para fora do sistema em vários pontos, principalmente nas juntas do sistema circular ou do ventilador. Identifica erros nos fluxômetros.

As desvantagens da técnica relacionam-se principalmente à necessidade de cálculos matemáticos, de oxíme-

tro de linha para uso com N_2O e usinas concentradoras de oxigênio e de sistema circular sem vazamentos e dificuldade de uso sem intubação traqueal.

É FÁCIL USAR A ANESTESIA QUANTITATIVA?

A grande quantidade de fórmulas matemáticas e conceitos farmacocinéticos podem, à primeira vista, sugerir que a anestesia com *fluxos baixos e basais* é trabalhosa e de alto risco. Independentemente da técnica de administração do halogenado, o que se almeja é uma concentração alveolar estável e suficiente para anestesia cirúrgica. Se a monitorização é completa, incluindo a concentração expirada final do anestésico, não há cálculos a serem feitos e a rotina internacional é iniciar a anestesia com fluxo total de gases entre 2 e 3 $L \cdot \text{min}^{-1}$ ($N_2O:O_2$ de 2:1) e alta concentração de halogenado. O fluxo é lentamente reduzido assim que a concentração expirada final de N_2O e halogenado se aproxime da desejada, só havendo redução no dial quando ultrapassados os valores esperados ou por alteração hemodinâmica.

Com a monitorização mínima de pressão arterial, eletrocardiografia (ECG) contínuo, oximetria de pulso e capnografia, não é aconselhável o uso de N_2O e é difícil manipular vaporizador calibrado.

As técnicas com seringa e bomba de infusão são extremamente fáceis, necessitando apenas de algum treinamento.

O uso de vaporizadores *kettle* ou “universal de borbula” exige atenção redobrada nos quatro primeiros minutos, mas são de controle fácil posteriormente.

Na existência de sistema circular valvulado, não há razões para não ser praticada a anestesia com *fluxos baixos ou basais*.

REDUÇÃO DE CUSTOS

O uso de baixo fluxo de gases permite considerável redução no custo total da anestesia inalatória.^{36,37} Exemplificando: anestesia inalatória realizada com sevoflurano, com duração de duas horas e com diferentes fluxos de admissão de gases (FAG). Partindo-se do princípio de que 1 mL de sevoflurano líquido fornece 182 mL de vapor, 100 g de cal sodada neutralizam 26 L de CO_2 e que o custo de 100 g de cal sodada é de R\$ 1,00, de 1 mL de sevoflurano líquido é de R\$ 1,40, de 1 m^3 de O_2 é de R\$ 8,00 e 1 m^3 de N_2O é de R\$ 140,45, podem-se visualizar, na Tabela 5 os custos da fase de manutenção de anestesia com duração de duas horas, com FAG de 6, 3, 1 ou 0,25 $L \cdot \text{min}^{-1}$. Como pode ser observado, o custo é de aproximadamente R\$ 209,32 utilizando-se FAG de 6 $L \cdot \text{min}^{-1}$, ao passo que, com fluxos basais, pode ocorrer economia em torno de 96%.

Essa economia pode claramente possibilitar a aquisição de novos equipamentos, como aparelhos de anestesia e monitores mais avançados, que permitirão a execução de anestesia com baixo fluxo ou fluxo basal de gases, assim como permitir realizar os procedimentos anestesiológicos com mais segurança.

Além disso, quando essa técnica começa a ser difundida em um serviço, geralmente nem todos os anestesiológicos passam a usar fluxos basais. Entretanto, a redução para fluxos baixos já representa sensível diferença nos gastos e requer poucos cuidados além dos que habitualmente já são dispensados em qualquer procedimento anestésico.

Tabela 5 - Custos da fase de manutenção de um procedimento anestésico com duração de 2 horas com vários FAG

FAG ($L \cdot \text{min}^{-1}$)	O_2	N_2O	Sevoflurano ~2,5%	Cal sodada	Total
6 (2:4)	R\$1,92	R\$67,40	R\$140,00	–	R\$209,32
3 (1:2)	R\$0,96	R\$33,70	R\$70,00	R\$0,52	R\$105,18
1 (0,5:0,5)	R\$0,48	R\$8,42	R\$23,33	R\$0,69	R\$32,92
0,25	R\$0,24	–	R\$5,83	R\$1,03	R\$7,10

REFERÊNCIAS

1. Lowe HJ, Ernst EA. The quantitative practice of anaesthesia: use of closed circuit. Baltimore: Williams and Wilkins; 1981.
2. Leão DG, Vieira ZEG, Saraiva RA. Anestesia com baixos fluxos de gases: Uso do vaporizador tipo "Kettle" com novos intervalos. *Rev Bras Anesthesiol.* 1987; 37:89-95.
3. Leão DG. Uso de vaporizador universal na anestesia quantitativa com halotano. *Rev Bras Anesthesiol.* 1990; 40: 187-92.
4. Fonseca NM, Manhães WL, Andrade Jr DA. Anestesia quantitativa com enflurano: Comparação entre injeção em bolus e com bomba de infusão em fluxos basais de oxigênio. *Rev Bras Anesthesiol.* 1997; 47:108-16.
5. Leão DG, Pinto MLV, Araújo JHL. Anestesia quantitativa com isoflurano em bomba de infusão. *Rev Bras Anesthesiol.* 1995; 45(supl 19):s232.
6. Silva JMC, Pereira E, Saraiva RA. As bases fisiológicas e farmacológicas do baixo fluxo de gases em sistema fechado. *Rev Bras Anesthesiol.* 1981; 31:289-95.
7. Leão DG, Barbosa RZM. Anestesia quantitativa com fentanil e enflurano: uso de doses fixas na manutenção. *Rev Bras Anesthesiol.* 1997; 47:381-7.
8. Leão DG. Nova classificação da anestesia inalatória. *Rev Bras Anesthesiol.* 1989; 39:3:213-7.
9. Baxter AD. Low and minimal flow inhalational anaesthesia. *Can J Anaesth.* 1997;44:643-53.
10. Merkel G, Eger EI II. A comparative study of halothane and haloplane anesthesia. *Anesthesiology.* 1963; 24:346-57.
11. Eger EI II, Saidman LJ, Brandstaten B. Minimum alveolar anesthetic concentration: A standart of anesthetic potency. *Anesthesiology.* 1965; 26:756-63.
12. De Jong RH, Eger EI II. MAC expanded: AD50 and AD95 values of common inhalation anesthetics in man. *Anesthesiology.* 1975; 42:384-9.
13. Silva JMC - Concentração para manutenção da anestesia (CoMA) em sistema fechado de inalação. *Rev Bras Anesthesiol.* 1989; 39(4):261-71.
14. Brody S. Bioenergetics and growth. New York: Reinhold; 1945.
15. Douglas HS, MacDonald JAE, Milligan GF, et al. A comparison of methods for the measurements of cardiac output and blood oxygen content. *Br J Anaesth.* 1975; 45:443-9.
16. Lockwood GG, Kardim MY, Chakrabarti MK, et al. Clinical use of a small soda lime canister in a low flow to-and-fro system. *Anaesthesia.* 1992; 47:568-73.
17. Leão DG, Fonseca NM. Halotano e óxido nítrico em anestesia com fluxo basal de gases e intervalos duplos. *Rev Bras Anesthesiol.* 1989; 39:389-95.
18. Leão DG, Costa Filho AC, Soares AMMS. Anestesia quantitativa com halotano: uso de bomba de infusão. *Rev Bras Anesthesiol.* 1998; 48:251-7.
19. Bengtson JP, Sonander H, Stenqvist O. Gaseous homeostasis during low-flow anaesthesia. *Acta Anaesthesiol Scand.* 1988; 32:516-21.
20. Gouveia MA. Ar comprimido e anestesia com baixo fluxo (carta) *Rev Bras Anesthesiol.* 1987; 37:368-9.
21. Berntman L, Luttrupp HH, Werner O. Mechanical ventilation during low-flow anaesthesia. Experience with an alternative to the bag-in-bottle. *Anaesthesia.* 1990; 45:855-8.
22. Biro P. Fresh gas uptake in the closed circuit anaesthesia machine PhysioFlex registered. *Anaesthesist.* 1993; 42:638-43.
23. Curatolo M, Derighetti M, Peterson-Felix S, et al. Fuzzy logic control of inspired isoflurane and oxygen concentrations using minimal flow anaesthesia. *Br J Anaesth.* 1996; 76:245-50.
24. Leão DG, Rezende RM, Barbosa RZM- Anestesia quantitativa com enflurano em bomba de infusão. *Rev Bras Anesthesiol.* 1995; 45(Supl 19):S234.
25. Leão DG, Vieira MS, Silva JRL. Anestesia quantitativa com enflurano-potencialização pelo fentanil antes da intubação traqueal. *Rev Bras Anesthesiol.* 1992; 42:4:277-84.
26. Pereira Jr J. Anestesia quantitativa. Baixo fluxo de gases. Utilização de vaporizador calibrado. *Rev Bras Anesthesiol.* 1988; 38:CBA37.
27. François LMG, Chiao IU, Pereira JB. Redução acidental da FIO2 durante anestesia com ventilação mecânica. *Rev Bras Anesthesiol.* 1986; 36:229-31.
28. Tenbrinck R, Leendertse K, Erdmann W. Xenon in the physioflex: the first clinical experience. Abstracts of the 3th Meeting of ALFA, 1998.
29. Bito H, Ikeda K. Close-Circuit Anesthesia with sevoflurane in humans-effects on renal and hepatic function and concentrations of breakdown products with soda lime in the circuit. *Anesthesiology.* 1994; 80:71-6.
30. Bito H, Ikeuchi Y, Ikeda K. Effects of low-flow sevoflurane anesthesia on renal function: comparison with high-flow sevoflurane anaesthesia and low-flow isoflurane anaesthesia. *Anesthesiology.* 1997; 86:1231-7.
31. Fee JPH, Murray JM, Luney SR. Molecular Sieves: Na alternative method of carbon dioxide removal which does not generate compound A during simulated low-flow sevoflurane anaesthesia. *Anaesthesia.* 1995; 50:841-5.
32. Moriwaki G, Bito H, Ikeda K. Partly exhausted soda lime or soda lime with water added, inhibits the increase in compound A concentration in the circle system during low-flow sevoflurane anaesthesia. *Br J Anaesth.* 1997; 79:782-6.
33. Gowerie-Mohan S, Muralitharan V, Lockwood GG. The estimation of inspired desflurane concentration in a low-flow system. *Anaesthesia.* 1996; 51:904-7.
34. Torres MLA, Carvalho JCA, Bello CN, et al. 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. *Rev Bras Anesthesiol.* 1997; 47:89-100.
35. Kleemann PP. Humidity of anesthetic gases with respect to low-flow anaesthesia. *Anaesth Intens Care.* 1994; 22:396-408.
36. Vale NB. "Quo Vadis" Desflurano e Sevoflurano? *Rev Bras Anesthesiol.* 1994; 44: 331-8.
37. Torres MLA, Carlos RV. Aparelhos de anestesia: componentes e normas técnicas. In: Cangiani LM, Posso IP, Potério GMB, Nogueira CS. *Tratado de anestesiologia.* 6ª ed. São Paulo: Ateneu; 2006. p. 171-2.