

## REVISÃO

### ABSORÇÃO DE GÁS CARBÔNICO(\*)

DR. BENTO GONÇALVES, E.A.

DR. PETER SPIEGEL, E.A.

*A maneira mais eficiente para a eliminação do gás carbônico expirado em um sistema com reinalação de gases, é o método químico, que consiste em uma reação de neutralização.*

*A absorção de CO<sub>2</sub> é revista em todos os seus aspectos principais, a partir da química da absorção, sendo mostradas tôdas as reações que se processam até a eliminação do CO<sub>2</sub>. Fator importante neste método, é o tipo do absorvente empregado, além das características de tamanho, forma, grau de umidade e dureza de seus grânulos, e da presença de indicadores que mostram a exaustão da capacidade de absorção. Ainda sob o aspecto químico, é dada uma noção importante sobre o efeito dos absorventes alcalinos sobre os anestésicos.*

*Argumentos eminentemente práticos sobre os métodos de absorção utilizados em anestesia, tanto o pendular como o circular, são apresentados com suas vantagens e desvantagens, fazendo-se referências a capacidade e forma do absorvedor, a resistência ao fluxo aéreo e a relação entre o espaço intergranular e o volume corrente.*

*A eficiência da absorção é analisada tendo por base o conceito de "onda de absorção", mostrando-se a influência do fluxo de gases administrados, a localização das válvulas unidirecionais, do balão de reinalação e da válvula de escape do excesso de gases, conforme o paciente esteja com respiração espontânea ou controlada.*

*Finalizando a revisão é dada uma noção prática e interessante sobre a maneira correta de enchimento dos absorvedores.*

Em anestesia inalatória quando se usam sistemas com reinalação dos gases, há a necessidade de eliminar o gás carbônico (CO<sub>2</sub>) contido na mistura dos gases expirados, para que a inspiração se faça sem contaminação de CO<sub>2</sub>. A absorção química é o método mais prático, pôsto em uso até agora.

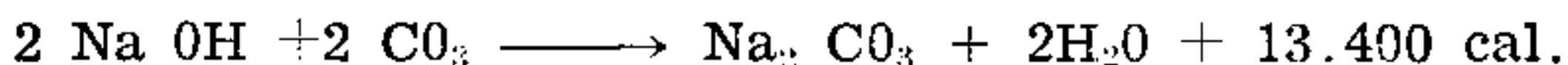
(\*) Trabalho do Serviço de Anestesia do Hospital de Clínicas da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade do Estado da Guanabara.

## QUÍMICA DA ABSORÇÃO

O  $\text{CO}_2$  expirado é eliminado por uma reação de "neutralização", isto é, uma reação entre um ácido e uma base, com neutralização dos ions Hidrogênio ( $\text{H}^+$ ) e formação de água e um sal. O  $\text{CO}_2$  livre expirado, forma ácido carbônico com a umidade contida na superfície dos grânulos e dissociando-se fornece ( $\text{H}^+$ ):



A base utilizada para a reação, quando ionizada, fornece os ions hidroxila ( $\text{OH}^-$ ) que se unindo aos ions  $\text{H}^+$  formam água, numa reação irreversível. Quando os ions  $\text{H}^+$  e  $\text{OH}^-$  se unem ocorre liberação de *calor de neutralização*, que é de valor constante, qualquer que seja o ácido ou a base e é de aproximadamente 13.700 calorias para cada molécula grama (18g) de água formada (<sup>1</sup>) A quantidade de calor liberada na reação depende do grau de ionização das substâncias reagentes. Assim:

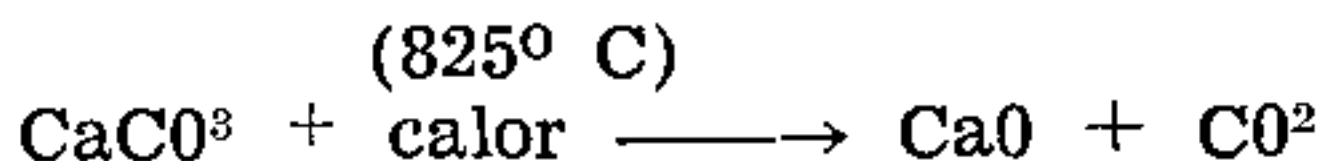


Os hidróxidos dos metais alcalinos (césio, rubídio, potássio, sódio e lítio) e dos alcalino-terrosos (bário, estrôncio, cálcio e magnésio) são bases fortes e bastante ionisáveis em soluções aquosas. O ácido carbônico se dissocia pouco em  $\text{H}^+$  e  $\text{CO}_3^-$ , sendo um ácido fraco. A quantidade de um ácido fraco para neutralizar uma molécula-grama (mole) de base forte, ou vice-versa, é a mesma, como se ambos fossem fortes e altamente ionisáveis. Isto porque, se uma base forte fôr misturada com um ácido fraco, logo que os ions se convertem em água, certa porção não ionizada se ionisa para manter o equilíbrio, até que finalmente todo o ácido se ionisa e seja neutralizado.

A facilidade com que o  $\text{CO}_2$  é absorvido depende da atividade do metal que forma o hidróxido, sendo mais ativos os alcalinos do que os alcalino-terrosos, pois os hidróxidos dos metais alcalinos são muito solúveis na água e muito ionizados; já os hidróxidos dos metais alcalino-terrosos são menos solúveis na água, mas mesmo assim, sua solução é bastante ionizada. Uma vez que os hidróxidos de metais alcalinos são muito higroscópicos e cáusticos, prefere-se, para a absorção de  $\text{CO}_2$  o uso de misturas que são mais práticas, além de serem de preço inferior.

Durante o processo de absorção o produto que se forma (sal) é principalmente um carbonato, embora um excesso de ácido carbônico, em presença de água, possa dar formação de bicarbonato, sem importância prática, no entanto, porque a carga de um absorvedor se extingue antes da sua formação (\*), isto é, permite a passagem excessiva de CO<sub>2</sub>.

Os carbonatos de sódio, potássio e lítio são solúveis, na água; os de bário e cálcio são insolúveis e portanto não ionizáveis. Apesar de não serem cáusticos, os carbonatos solúveis se hidrolizam em água e formam soluções alcalinas, porque são compostos de ácido fraco e base forte e altamente ionizados em solução aquosa. Os carbonatos de metais alcalinos, são relativamente estáveis e se decompõem apenas se submetidos a altas temperaturas. Os carbonatos de metais alcalino-terrosos são decompostos mais facilmente em seu óxido e gás carbônico:



O calcáreo (carbonato de cálcio) aquecido, produz cal virgem (CaO) que misturada com água se transforma em cal queimada (Ca(OH)<sub>2</sub>) com formação de calor.

Os hidróxidos, mais ativos, de sódio e potássio ao se dissociarem na água, também liberam calor. Este calor de solução juntamente com a atividade higroscópica e natureza cáustica limitam seu uso para a absorção de CO<sub>2</sub>, na prática, sendo usado em pequenas quantidades na mistura absorvente como substância ativadoras, devido à maior rapidez com que reagem com o ácido carbônico.

#### ABSORVENTES

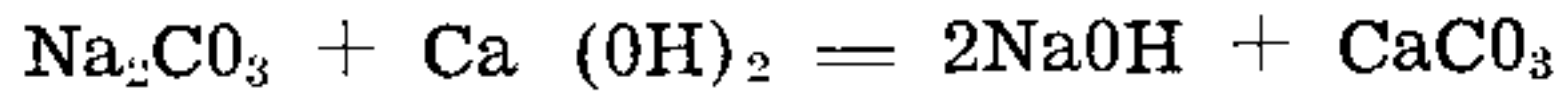
Em anestesia usam-se, principalmente dois tipos de absorventes: a Cal Sodada e a Cal Baritada; ambos, devem apresentar certas características e especificações afim de proporcionarem condições ótimas de absorção.

A cal sodada será estudada com mais detalhes por ser a de uso mais difundido, porém a maioria dos fatores destacados a seguir, são comuns a ambos.

##### 1. Composição:

A — CAL SODADA — formada por Hidróxido de Cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) 95%; Hidróxido de Sódio (Na OH) 4 a 5%; Água (umidade absorvida) 14 a 19%.

Embora o principal componente seja o hidróxido de cálcio (95%) a reação do  $\text{CO}_2$  é mais rápida com o hidróxido de sódio produzindo-se  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  que é solúvel e ionizado na água presente no grânulo. O carbonato formado sendo solúvel penetra no interior do grânulo onde encontrará  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ainda não neutralizado. Ocorre então a seguinte reação:



O hidróxido de sódio renovado mantém a atividade normal da cal até o esgotamento do  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Pequena quantidade de dióxido de Silício que forma silicatos de sódio (solúvel) e de cálcio (insolúvel) é adicionada para conferir certo grau de dureza ao produto evitando a fragmentação e formação de poeira. Atualmente, a cal sodada praticamente não contém sílica e sim  $\pm 1\%$  de hidróxido de potássio (substância mais ativa que o hidróxido de sódio); além disso, o grau de pureza de seus componentes e a técnica de fabricação conseguem conferir-lhe a dureza suficiente.

No preparo do produto a massa é fundida em placas, e a seguir fragmentada e peneirada. Os grãos são de forma irregular e de tamanho variável.

B — CAL BARITADA — (Baralyme) — Compõe-se de uma mistura de hidróxido de bário ( $\text{Ba}(\text{OH})_2$ ) e de cálcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) na proporção de 1 para 4. O hidróxido de bário forma com 8 moléculas de água, um octahidrato  $\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ , correspondendo a aproximadamente a 5% da umidade. Para uma absorção mais eficiente a Baralyme pode ser hidratada até 25% (Volume do espaço intragranular) <sup>(2)</sup>. A água funciona como o ativador da mistura. Este composto é de dureza suficiente não sendo necessária a adição de sílica. A quantidade de calor de neutralização é pouco diferente da formada pela reação com a cal sodada.

2 — *Tamanho e Forma do Grânulo* — O contato entre o  $\text{CO}_2$  e o absorvente se faz por superfície; sendo assim, quanto menor for o grânulo melhor será sua capacidade de absorção. Mas, grânulos muito pequenos, dispostos num compartimento, diminuem o espaço intergranular (vazio existente entre os grânulos) e aumentam a resistência à passagem dos gases por entre eles com formação de turbilhão.

O espaço intergranular representa cerca de 45% a 47% do volume da cal sodada úmida em anestesia e o espaço intragranular (poros) mais 25% aproximadamente <sup>(3)</sup> ocupado pelos 14 a 19 vol% de água. Assim, num filtro de 500 cc de capacidade o espaço intergranular é de aproximadamente 230 cc

e num filtro de 1.000 cc é de 460 cc. Os filtros pequenos apenas são satisfatórios clinicamente graças à grande atividade de absorção da cal. A forma irregular da superfície dos grânulos, confere-lhes também superfície de contato maior do que uma forma regular em pílulas ou esferas.

Para anestesia, os grânulos devem ter tamanho entre 4 e 8 "mesh", sendo 6 a 8% do tamanho 4 e o resto, em média, do tamanho 6. A medida "mesh" indica o número de retículos, por polegada quadrada, existentes numa peneira. Os grânulos de 14 a 20 mesh (menores) usados em aparelhos de metabolismo basal providos de ventoinha não são adequados para uso prolongado em anestesia pelo aumento de resistência que oferecem à respiração. Grânulos maiores (2 a 4 mesh) também não são recomendáveis pois diminuem a eficiência da absorção (área de contato).

3 — *Grau de Umidade* — Conforme já foi visto, moléculas de água são necessárias para se combinarem ao  $\text{CO}_2$  formando ácido carbônico, bem como para ionisar os reagentes; por isso, há necessidade de incorporar certa quantidade de água aos grânulos de cal sodada. (2) Existe uma cal sodada "sêca" (2 a 4% de  $\text{H}_2\text{O}$ ) ineficiente para a boa absorção de gás carbônico em anestesia; outro tipo de cal sodada "úmida" contém 14 a 19% de água sob a forma de fina película cobrindo os grânulos. A umidade dos grânulos de cal se obtêm preenchendo os poros (espaço intragranular) em cerca de 85% de seu volume, o que provê umidade suficiente para dissipar por vaporização o calor de reação, sem interferir na absorção. O volume do espaço intragranular varia inversamente com o conteúdo de umidade; 25 a 28  $\text{cm}^3$  por 100g de peso sêco de cal (3). A área útil de atividade da superfície de cal sodada "úmida" em anestesia é de cerca de 100  $\text{cm}^2/\text{cc}$  de cal ou 16% da área total que é de 600  $\text{cm}^2/\text{cc}$ . (4). Mais umidade encheria os poros reduzindo a área de superfície de absorção. Menos, encurtaria a vida do absorvente porque a cal estaria sêca antes que seus reagentes fossem aproveitados completamente. Esta água, pode se perder por exposição do produto à atmosfera, razão pela qual os depósitos devem ser mantidos fechados. Pela mesma razão não adianta tentar recuperar a atividade da cal sodada colocando-a em estufa para aquecimento. Na cal Baritada, o octahidrato de Bário reagindo com  $\text{CO}_2$  produz 45 ml de água de cristalização por 100 gramas.

Um produto contendo muito hidróxido de sódio torna-se extremamente higroscópico o que levará a uma aglutinação em grumos maiores com empedramento (caking) o que, por

sua vez, formará verdadeiros túneis preferenciais por onde passam os gases, sem entrarem em contato com a cal sodada ativa, produzindo o fenômeno de canalização (channelling), que diminui a eficiência da absorção.

No absorvedor pode se acumular água proveniente da condensação do vapor d'água do ar expirado e da umidade eventualmente existente nas traquéias do aparelho de anestesia, porém, a maior parte da água é formada pela reação de neutralização. Mesmo assim, esta quantidade não é suficiente para as reações químicas, se não houver água incorporada aos grânulos.

Os grânulos de cal sodada ao absorver gás carbônico ganham peso e volume; logo, a carga de um absorvedor se expande e fica "socada" quando gasta. Para que se considere uma cal sodada como sendo de boa qualidade seu peso ao estar gasta deve aumentar de pelo menos 19% do peso inicial (Especificação U.S.P.) (1). A capacidade máxima de absorção da cal sodada é em torno de 16 litros de  $\text{CO}_2/100\text{g}$  (5,8).

4 — *Dureza* — A cal sodada deve ter certo grau de dureza para evitar pulverização e facilitar sua conservação no transporte. Entretanto, a eficiência da absorção varia inversamente com sua dureza. Os grãos de cal sodada gasta são mais duros do que quando ela é fresca, uma vez que o carbonato de cálcio que recobre o grânulo esgotado é uma substância relativamente mais dura e insolúvel, apesar do interior do grânulo poder ainda conter  $\text{NaOH}$  não neutralizado. O sabor dos grânulos esgotados é menos cáustico. Determina-se a dureza adequada, de uma cal nova, colocando-a em recipiente especial contendo bilhas de tamanho especificado e agita-se por 30 minutos. A seguir a cal é peneirada por 3 minutos em peneira com 40 mesh. Pelo menos 75% da cal deve permanecer dentro da peneira (1).

5 — *Indicadores* — São substâncias alcalinas adicionadas aos produtos de uso clínico para indicar a exaustão da capacidade de absorção, mudando de coloração quando o pH da substância fica menor que 12. Os mais usados são: o violeta de etila que de incolor passa a violáceo, em combinação com o ácido carbônico; o amarelo de Clayton que de vermelho, passa à amarelo; o "Mimosa Z" é usado atualmente na cal baritada que passa de vermelho para azul. As alterações de coloração do absorvente devem ser observadas durante o uso, porque, quando fora de uso ocorre reversão à cor original. Com a neutralização, a zona que já havia anteriormente mudado de coloração, e portanto, cuja capacidade de absorção é mínima,

muda de cor rapidamente. A exaustão de um absorvedor pode ser acompanhada pela alteração de temperatura que acompanha a zona de reação e por uma zona de condensação de umidade que se situa um pouco abaixo da zona de reação. A simples mudança de coloração não é, por si só, índice de boa absorção. Há um aumento da concentração do  $\text{CO}_2$  do gás inspirado, que passou pela cal, antes do indicador mudar de coloração em toda extensão do filtro.

6 — *Temperatura* — Como a absorção do  $\text{CO}_2$  é uma reação exotérmica, a presença de calor indica que está havendo absorção. Este calor provém, principalmente, da reação de neutralização e pouco ou quase nada, da reação de solução. A intensidade de variação de temperatura não pode ser tomada como índice de melhor ou pior absorção. Se, por exemplo, o fluxo de gases no sistema respiratório de um filtro circular, fôr alto (+ 4 litros), a temperatura pode subir pouco, mesmo havendo boa absorção. Por outro lado, pode-se observar um filtro muito aquecido (principalmente do tipo vai e vem) mesmo sem absorção perfeita; seja por produção aumentada do  $\text{CO}_2$  (hipertiroidismo, hipertermia), seja porque a capacidade do filtro é insuficiente.

Durante o uso, a temperatura da cal atinge entre 40 e 60° C, embora as paredes do filtro e o conjunto do sistema usado possam diminuí-la. Parece que, clinicamente, a temperatura com que o ar entra num filtro não têm influência sobre a eficiência da absorção, embora a velocidade de uma reação química seja mais rápida em temperatura alta (1).

7 — *Efeito dos absorventes alcalinos sobre os anestésicos* — Tanto o  $\text{C}_3\text{H}_6$  como o  $\text{N}_2\text{O}$  e o  $\text{C}_2\text{H}_4$ , dentro de um filtro, misturados com  $\text{O}_2$  a mais de 70° C não sofrem alterações. O éter etílico, e o éter vinílico nas mesmas condições podem produzir traços de aldeídos. O clorofórmio pode se converter em ácido fórmico por alcalis, mas este é absorvido formando formato de sódio e cálcio. O cloreto de etila, ester do álcool etílico e ácido clorídrico, pode ser hidrolizado. O ácido clorídrico será absorvido e o álcool etílico, inalterado. Os compostos halogenados, halotano, metoxifluorano, fluroxeno e etrano não se alteram em contato com a cal. A possibilidade de que a cal sodada possa ter ação catalítica em agentes inflamáveis parece remota.

O tricloroetileno não deve ser empregado em conjunto com substâncias alcalinas absorvedoras de  $\text{CO}_2$ . Pode ocorrer, acima de 60° C, a formação de fosgênio além de dicloroacetileno, agente capaz de provocar neurite tóxica (5.º e 7.º pares

crâneos), inflamáveis e que pode se decompor em fosgênio e monóxido de carbono. Esta decomposição é lenta e retardada por excesso de tricloroetileno ou éter. O maior perigo de cal contaminada com este agente é para o paciente subsequente que vai usar a mesma aparelhagem. Da mesma forma, cal sodada contendo grande quantidade de agentes potentes especialmente sob a forma líquida, por montagem errada de um vaporizador, como o metoxifluorano ou flutano, pode ser perigosa para o paciente inalar, pelo perigo de sobredose de anestésico. Em caso de contaminação de um sistema com anestésico líquido deve-se trocar todo o conjunto.

#### MÉTODOS DE ABSORÇÃO

Os filtros ou recipientes para absorção dispõem-se geralmente em dois tipos de métodos: o Vai e Vem e o Circular, dependendo de como se faz a passagem dos gases pelo absorvedor durante o ciclo respiratório.

I — *Método Vai e Vem, Pendular (To and Fro)* — Este método é bastante simples, consistindo apenas num filtro de absorção e um balão de reinalação, postos em contato com as vias aéreas do paciente por uma conexão para máscara ou para tubo traqueal.

Neste método, os gases respirados, passam pelo absorvedor na inspiração e na expiração, portanto, na ida e na volta do balão, o que lhe deu o nome, estando em movimento durante quase todo o ciclo respiratório, fazendo uma pequena pausa ou diminuição de velocidade na pausa expiratória. Durante seu uso a atividade da cal vai se esgotando do lado proximal do paciente aumentando progressivamente o espaço morto mecânico (50 a 75 ml por hora). O aumento do volume corrente pode compensar parcialmente o aumento progressivo do espaço morto, até cerca de 90 minutos.

Apresenta como *vantagens*:

- a — sua simplicidade, baixo custo e facilidade de transporte.
- b — facilidade de esterilização de todo o conjunto, por isso que, muito útil para anestesia em casos de paciente com contaminação das vias respiratórias.
- c — a perda de calor pela respiração é mínima e a umidade não se condensa.

Suas *desvantagens* são:

- a — O aproveitamento da cal é diminuído, pois o aumento contínuo do espaço morto mecânico faz com que:



o volume corrente fique logo maior que o espaço intergranular aparecendo rapidamente reinalação de  $\text{CO}_2$  ainda com boa parte da cal contida no filtro, fresca e ativa. (Fig. 1 e 2).

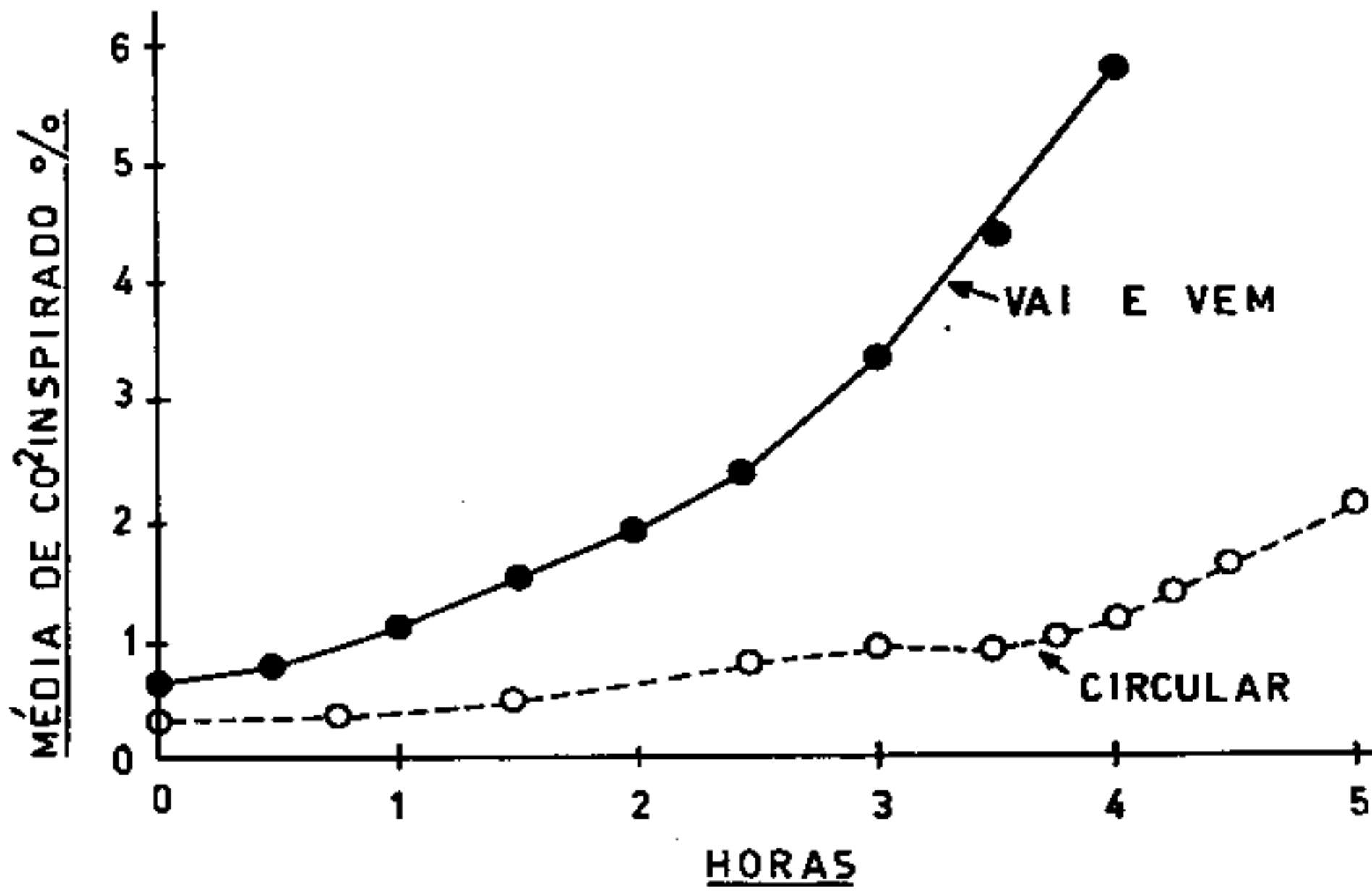


FIGURA 1

Comparação entre a absorção de  $\text{CO}_2$  em método vae e vem e circular, em uso contínuo, observando-se a exaustão rápida e progressiva, no vae e vem, que já inicia com reinalação de 0.6%, ao passo que no circular é de 0.3% (Filtros de Waters 8 x 13 cm 550 gr de cal, V.C. 500 cc; Ten Pas e col. *Anesthesiology* 231, 1958 com permissão).

- b — A temperatura dos gases respirados pode estar bem acima da temperatura corpórea, contribuindo como fator de hipertermia; embora a maioria dos filtros sejam construídos de metal bom condutor de calor. A temperatura elevada do filtro, se este estiver encostado ao paciente, pode produzir queimaduras.
- c — Há necessidade freqüente da mudança dos filtros durante a anestesia, não só pelo aumento da temperatura, mas também, pela exaustão rápida da absorção.
- d — Existe a possibilidade de insuflação de poeira alcalina nas vias aéreas do paciente, com irritação ou queimadura.
- e — A manutenção da posição correta do filtro, principalmente quando se usa máscara, fica às vezes difícil; além disso, em cirurgia de cabeça e pescoço ele fica junto ao campo operatório.

f — Se um filtro carregado de cal fôr deixado durante algum tempo destampado, sua capacidade de absorção diminui pela perda de umidade.

O método Vai e Vem, atualmente é muito pouco usado, consistindo quase que exceção para casos especiais de contaminação, como por exemplo: tuberculose e blastomicose, em anestésias de curta duração (menos de uma hora) ou quando se necessita transportar a aparelhagem portátil a locais distantes.

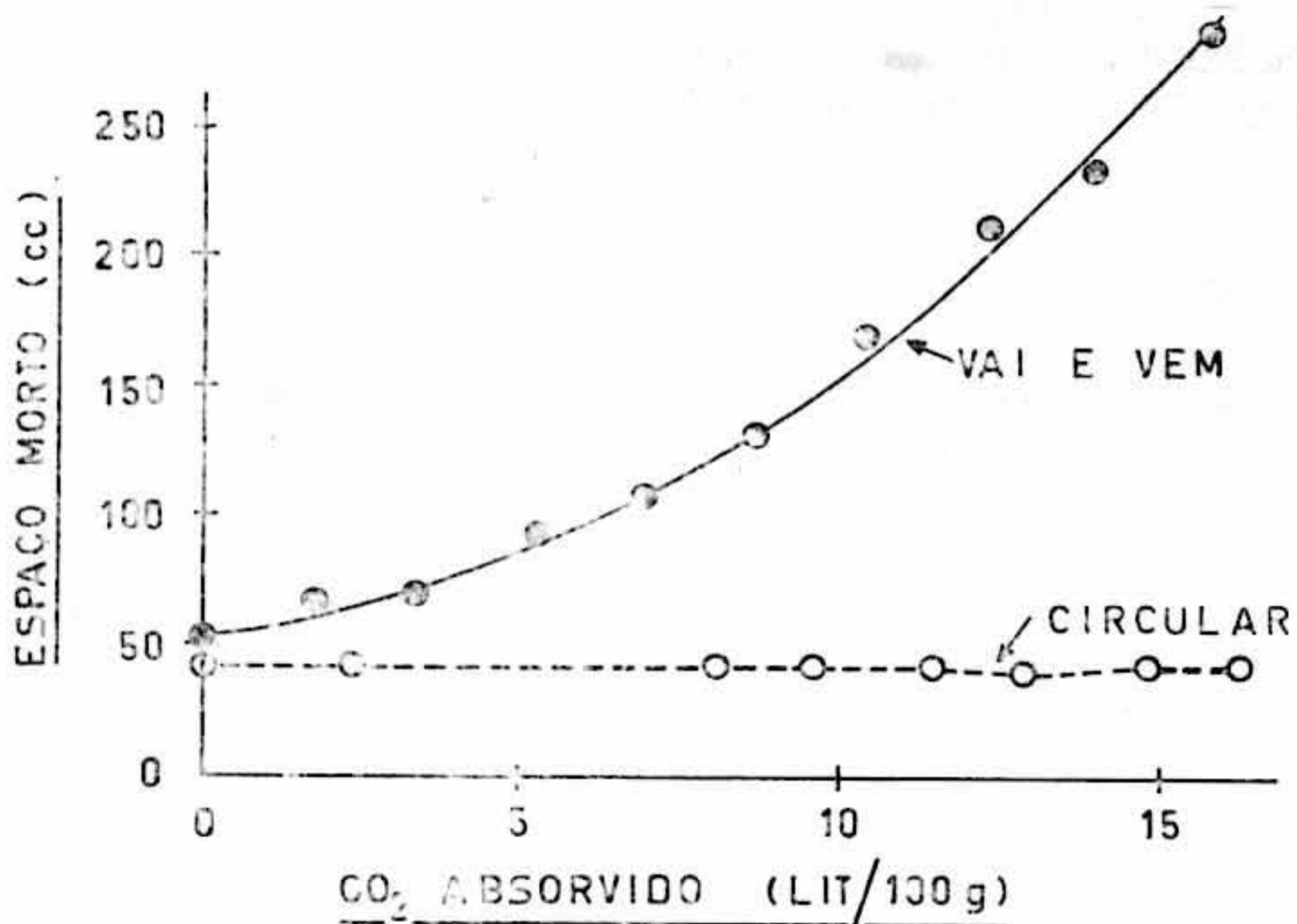


FIGURA 2

Comparação entre o espaço morto mecânico à medida que vai ocorrendo a exaustão da cal, nos métodos vai e vem e circular (Ten Pas e col. Anesthesiology, 231, 1958 com permissão).

II — *Método Circular* — Assim chamado porque os gases respirados percorrem um círculo em seu percurso de reinalação. Para isto, o filtro de absorção está em contato com as vias aéreas por meio de dois tubos ou traquéias e duas válvulas unidirecionais ou um sistema de Venturi, que regulam a direção que deve seguir o fluxo dos gases. O fechamento e abertura perfeita das válvulas unidirecionais é fundamental para o bom funcionamento do conjunto. Também a posição destas válvulas e a distensibilidade na eficiência da eliminação de CO<sub>2</sub>. Normalmente o espaço morto se limita ao Y especialmente usando-se válvulas no Y (tipo Elam) <sup>(12)</sup>.

Usando-se as válvulas junto ao filtro as traquéias por sua maior distensibilidade podem seqüestrar um pequeno volume de espaço morto. Recomenda-se respirar através o sistema antes de utilizá-lo afim de testar o funcionamento de suas válvulas, bem como verificar a presença de vazamentos.

Apresenta, quando comparado ao método Vai e Vem as seguintes *vantagens*:

a — Melhor aproveitamento e eficiência de absorção, nos filtros modernos, e manutenção de um espaço morto mecânico fixo. Sendo assim é possível utilizá-lo por períodos bem mais longos, com melhor aproveitamento da cal (Fig. 1 e 2).

b — A temperatura inspirada é mais baixa devido ao arrefecimento e perda de calor que ocorre no trajeto dos gases aquecidos, dentro do conjunto.

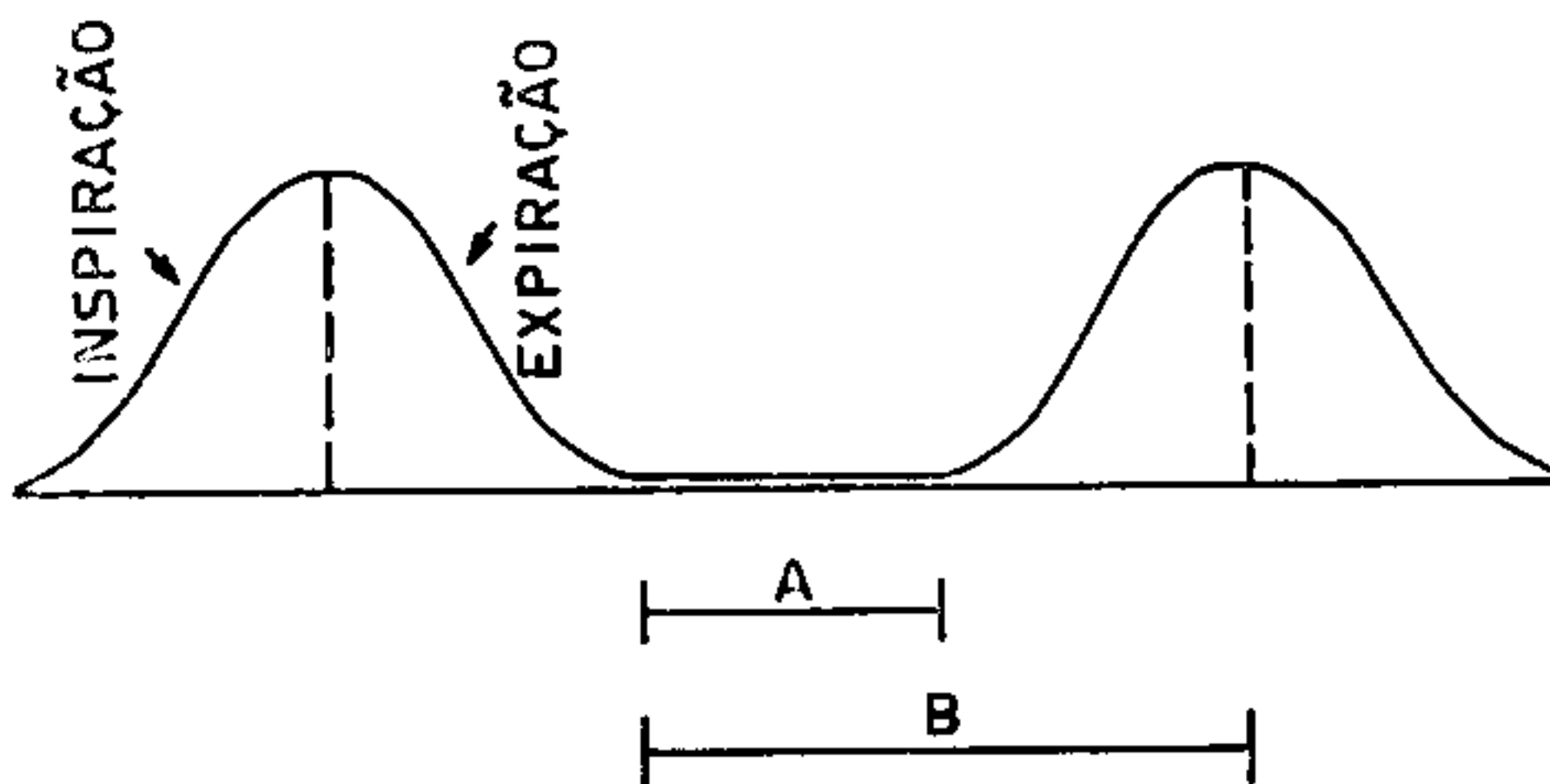


FIGURA 3

Tempo em que os gases ficam parados, em contacto com a cal sodada, durante um ciclo Respiratório. A — no método vai e vem; B — no método circular adaptado de Adriani (1).

c — Sua fixação se faz com bastante estabilidade e a qualquer distância, sem interferência no campo cirúrgico.

d — Os gases permanecem em contato com o absorvedor durante mais tempo, isto é, durante o intervalo pós-expiratório e na inspiração. Este maior contato proporciona maior efetividade na absorção. (Fig. 3).

e — As válvulas evitam o contato da poeira da cal com as vias aéreas.

Suas *desvantagens* são:

a — Material mais caro e mais pesado.

b — Aumento da resistência à respiração imposta pela presença das válvulas, volume das traquéias e do absorvedor.

Esta desvantagem pode ser diminuída pela construção de válvulas melhores e não tem a menor importância quando se usa respiração assistida ou controlada.

Estudos modernos de Brown e Elam (6) levaram a uma total reformulação de conceitos quanto ao desenho e a eficácia do método circular, na absorção de  $\text{CO}_2$ ; alguns destes conceitos já foram usados no transcurso deste texto. Segundo suas pesquisas, diversos fatores devem determinar as dimensões da construção de um absorvedor de  $\text{CO}_2$ .

a — *O intervalo conveniente de uso* — O tempo de uso após o qual um absorvedor deve ser trocado, deve ser pelo menos de 8/8 horas, num sistema com reinalação total.

b — *Parâmetros respiratórios do paciente* — O volume corrente médio e máximo de um paciente adulto varia de 0.5 a 1 litro. A produção de  $\text{CO}_2$  varia de 12 a 18 litros por hora, logo, a absorção prevista para um período de oito horas será de 100 a 150 litros de  $\text{CO}_2$ .

c — *Capacidade do absorvedor* — Num compartimento de absorção desenhado para evitar "canalização", 100g de cal absorverão cerca de 15 litros de  $\text{CO}_2$  (6). Assim, cerca de 870g de absorvente serão necessários para absorção de 8 horas; esta quantidade de cal cabe num absorvedor com volume de 1 litro (10).

d — *Espaço intergranular em relação ao volume corrente* — Como os poros da cal praticamente estão preenchidos por água, só o espaço intergranular acomoda o volume expirado pelo paciente. Como o espaço intergranular é de 47% do volume da cal, um compartimento de 1 litro acomodará um volume corrente de 470ml. Mas, com a cal virada em carbonato, o espaço entre os grânulos esgotados não contribui como superfície de absorção aumentado na proporção de 60ml por hora. Por isso, se o volume corrente for igual ou maior que o espaço intergranular, é interessante colocar um absorvedor de reserva, do mesmo tamanho do que o que está sendo usado. Assim, se o espaço intergranular diminui muito no primeiro absorvedor, o segundo servirá para prover boa absorção, servindo ainda como teste da eficiência do primeiro.

e — *Resistência ao fluxo aéreo* — A resistência específica de um absorvente de 4-8 mesh é de 1 mm  $\text{H}_2\text{O}$  por litro/min. A resistência de um absorvedor cheio de absorvente depende da velocidade do fluxo aéreo, do comprimento e da largura do absorvedor. Para um absorvedor com compartimento de 2 litros a resistência é menor que 1 cm  $\text{H}_2\text{O}$  num fluxo de 60 litros/min, se o comprimento da câmara for menos que 18 cm e o diâmetro maior que 12 cm (7,10).

f — *Evitar a canalização* — Este fator é fundamental e pode-se dizer mesmo que sem isto o resto perde muito de importância. Quanto mais complexa fôr a forma do compartimento de cal mais difícil será conseguir-se uma boa distribuição do fluxo aéreo pelo leito do absorvedor. A forma cilíndrica simples apresenta porisso grande vantagem além de facilitar sua colocação em qualquer aparelho. É importante que na entrada do absorvente exista um pequeno espaço com anteparo para servir de distribuidor do fluxo aéreo, (Figura 4), caso contrário, ocorre a tendência de formação de caminhos mais fáceis <sup>(10)</sup>.

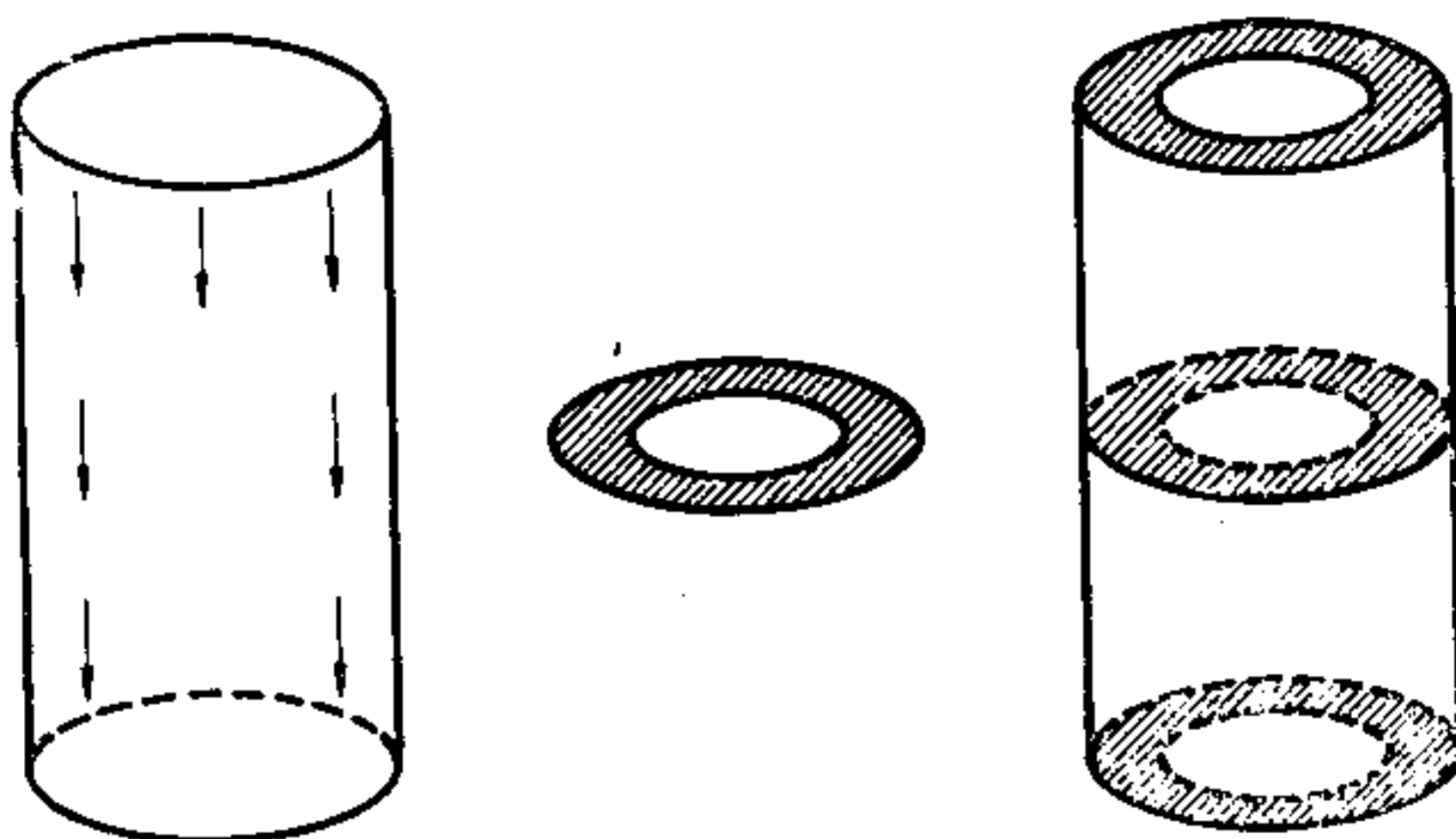


FIGURA 4

Na direita, canalização e à esquerda, a colocação recomendada de anéis, num compartimento cilíndrico para evitar o «efeito da parede» que favorece a canalização.

Desde que é impossível uma aderência compacta entre os grânulos ao longo das paredes do absorvedor, nesta área há menor resistência ao fluxo e daí a formação de passagem preferencial sem que a área central seja aproveitada na absorção. Esta canalização pode ser evitada usando-se anteparos sob a forma de anéis em torno das paredes laterais. Pode-se também usar a entrada e a saída do fluxo aéreo do compartimento absorvedor em posições excêntricas, como se fêz por exemplo no filtro Narcosul 122 <sup>(12)</sup>.

g — *Transparência do filtro* — A transparência, das paredes do filtro, permite uma previsão razoável do uso do absorvedor desde que se siga uma rotina correta na observação do tempo de uso, da mudança de coloração do indicador, da temperatura e condensação de água que acompanham a onda de absorção.

TABELA I

Fabricante e Designação	Tamanho do Filtro (cc)	Cal Sodada (g)	Espaço Aéreo Total	Espaço Intergra- nular	Eficiência em Horas
<b>Pendular</b>					
Foregger — 450 g.	635	570	350	300	1,5
350 g.	445	400	245	205	—
180 g.	285	260	155	135	—
Infantil	112	100	62	53	—
<b>Circular</b>					
Roswell Park	2 120	1 920	1 165	1 000	9.5 (Cada Câmara)
Narcosul 122	1 230	1 120	680	580	8.0
Foregger CF <sub>1</sub>	440	400	240	205	3.25
» CF <sub>2</sub>	540	490	295	255	3.5
Jumbo (Duplo)	2 000	1 820	—	1 000	9.5 (Cada Câmara)
Morris (Duplo)	830	750	455	390	3.5 (Cada Câmara)
Ohio 9,B	865	780	475	405	3.5
Ohio 18,19 S/anteparo	2 470	2 230	—	1 160	17.0
Ohio 18,19 C/anteparo	2 240	2 020	—	2 050	20.0
Ohio 20,21 (duplo)	3 000	2 820	—	1 410	14.0 (Cada Câmara)

Observações experimentais, usando 300 cc/min de CO<sub>2</sub>, para demonstrar a eficiência de diversos filtros de absorção. É de notar que a maioria dos filtros mais antigos não conseguem manter no espaço intergranular um volume corrente de 500 ml. (Adaptado de Brown).

h — *Espaço abaixo do absorvedor* — É recomendável que os filtros sejam construídos de tal forma que o gás expirado se dirija de cima para baixo e sob a câmara de absorção haja um espaço entre a câmara e o balão de reinalação (de preferência metálica) onde a temperatura mais baixa facilite a condensação da água, que de outra forma poderia se depositar nas camadas inferiores da cal; dêsse modo previne-se a formação de empedramento que diminui o rendimento da cal (10).

#### EFICIÊNCIA DA ABSORÇÃO

O esgotamento ou exaustão de um filtro, deve ser visto em termos de "onda de absorção", (6) o que significa a zona de progressão da absorção mais ativa, ao longo do leito de absorção. A onda de calor que caminha por um filtro acompanha a onda de absorção, acontecendo o mesmo com a viragem do indicador usado na cal.

A absorção de  $\text{CO}_2$  será efetiva sempre que o volume do espaço aéreo contido no filtro seja igual ou superior ao volume corrente respiratório. O espaço aéreo de um absorvedor é o volume total do espaço intergranular e do espaço intra-granular; mas como o gás não flui através os poros de um absorvente, somente o espaço intergranular é que contém o gás expirado (Tabela I).

Durante a passagem de um fluxo de gás expirado através um filtro existe certa quantidade de  $\text{CO}_2$  cuja concentração varia de acôrdo com a modificação instantânea do fluxo aéreo que passa através a cal. Se o espaço aéreo puder conter todo o volume corrente, todo o gás expirado estará em contato com a cal pelo menos durante certa fase do ciclo respiratório; depois, quando o fluxo de gás expirado diminui de velocidade e para, a parte da frente do fluxo passa adiante do filtro. Se o volume corrente fôr maior do que o espaço aéreo pode acomodar, parte do gás expirado passa pelo filtro sem ter seu  $\text{CO}_2$  depurado. Num filtro pequeno, se a velocidade de fluxo aéreo fôr muito elevada e houver um volume corrente grande a "onda de absorção" pode passar além do absorvedor; se isto acontece, certa porção do volume corrente inspirado conterà  $\text{CO}_2$  e a absorção será ineficiente.

Usando-se um *sistema com reinalação total* de gases já foi calculado que um absorvedor pode captar efetivamente de 15 a 20 litros de  $\text{CO}_2$  para cada 100g de cal. O adulto médio produz, mais ou menos, esta quantidade de  $\text{CO}_2$  por hora; portanto, nestas condições cada 100g de cal teria uma duração de 1 hora. (6). Naturalmente que usando-se siste-

TABELA II

LOCALIZAÇÃO NO CIRCUITO					CAPACIDADE APARENTE EM LITROS DE CO <sub>2</sub> /100g	
Válvulas	Balão	Fluxo Admissão	Escape (ramo expiratório posição em relação a válvula expiratória)	Esquema	Respiração Espontânea	Respiração Controlada
Filtro	Expiratória	Filtro	Após válvula Expiratória	A	86	48
Filtro »	Expiratória »	Traquéia »	Antes da válvula Expiratória Peça em Y	B	45 49	36 26
Y »	Expiratória »	Filtro »	Antes da válvula Expiratória No Y	C	86 99	64 25
Y	Inspiratória	Filtro	Após a válvula Expiratória	D	86	52

Capacidade aparente da cal sodada com método circular, num sistema com reinalação parcial e fluxo de admissão de 4 litros com válvula de escape fechada por mecanismo com mola. (Adaptação de Brown e col. Anesthesiology, 25:31, 1964 com permissão).



mas com reinalação parcial com fluxo de alimentação de gases mais alto, o tempo de duração do uso de cal aumenta progressivamente.

A capacidade efetiva de um absorvedor é bastante menor do que sua capacidade teórica por influência de diversos fatores:

a — “canalização” ou má distribuição do fluxo aéreo desviado de parte da superfície da cal ativa, especialmente por entupimento com pó de cal sodada.

b — o ressecamento da cal produzido por fluxo aéreo e calor de reação podem reduzir a atividade da cal.

c — o absorvente ativo pode estar tão profundamente situado nos grânulos que sua atividade chegue a zero.

A medida que vai ocorrendo a exaustão da cal contida na parte proximal de um filtro, diminui a área efetiva de absorção e o volume e concentração de  $\text{CO}_2$  no volume corrente inspirado começa a aumentar lentamente a princípio, até que rapidamente ocorre a exaustão completa do filtro. Se o volume corrente se mantiver excedendo o espaço aéreo, a eficiência de um absorvedor bem construído está entre 60 a 80% de sua capacidade. Considera-se que está havendo boa absorção quando o gás inspirado que já tenha passado pela cal contém menos do que 0.5% de  $\text{CO}_2$ .

Estudos de Brown e col (9), usando um sistema com reinalação parcial, em método circular, demonstraram que a capacidade aparente de um filtro de absorção, depende da localização das válvulas unidirecionais, do balão de reinalação, do fluxo de admissão dos gases no sistema e da válvula de escape do excesso (pop-off). A colocação destes diversos componentes influiu de maneira diversa, dependendo se o paciente estiver em respiração espontânea ou controlada. As observações foram realizadas, conforme os arranjos da figura 5; naturalmente que não foram testadas, a colocação da válvula de escape no lado inspiratório, do mesmo modo que, não se usou a entrada de gases no lado expiratório, porque não haveria nenhuma melhoria no rendimento, (Tabela II).

Os resultados de eficiência prolongada em sistema com reinalação parcial foram melhores quando as válvulas unidirecionais foram colocadas próximo ao paciente, o balão e a válvula de escape no lado expiratório, o fluxo de admissão no lado inspiratório do absorvedor (arranjo C. da fig. 5). Com este arranjo, se o fluxo de admissão for igual ao volume minuto respiratório, o sistema torna-se sem reinalação e a cal chega a durar de 60 a 90 horas.

Em nossas observações o melhor arranjo é com as válvulas de fabricação nacional que denominamos de tipo Elam,

em que o escape se faz antes da válvula expiratória e o balão e fluxo de admissão na parte inspiratória do absorvedor, porque:

1 — *Em Respiração Espontânea* — o ar expirado vai enchendo o balão de reinalação até criar uma pressão positiva dentro do conjunto, que aciona a válvula de escape neste momento, que coincide com o fim da expiração, os gases que passam pela válvula de expiração são mais ricos em  $\text{CO}_2$  e eliminados pela válvula de escape.

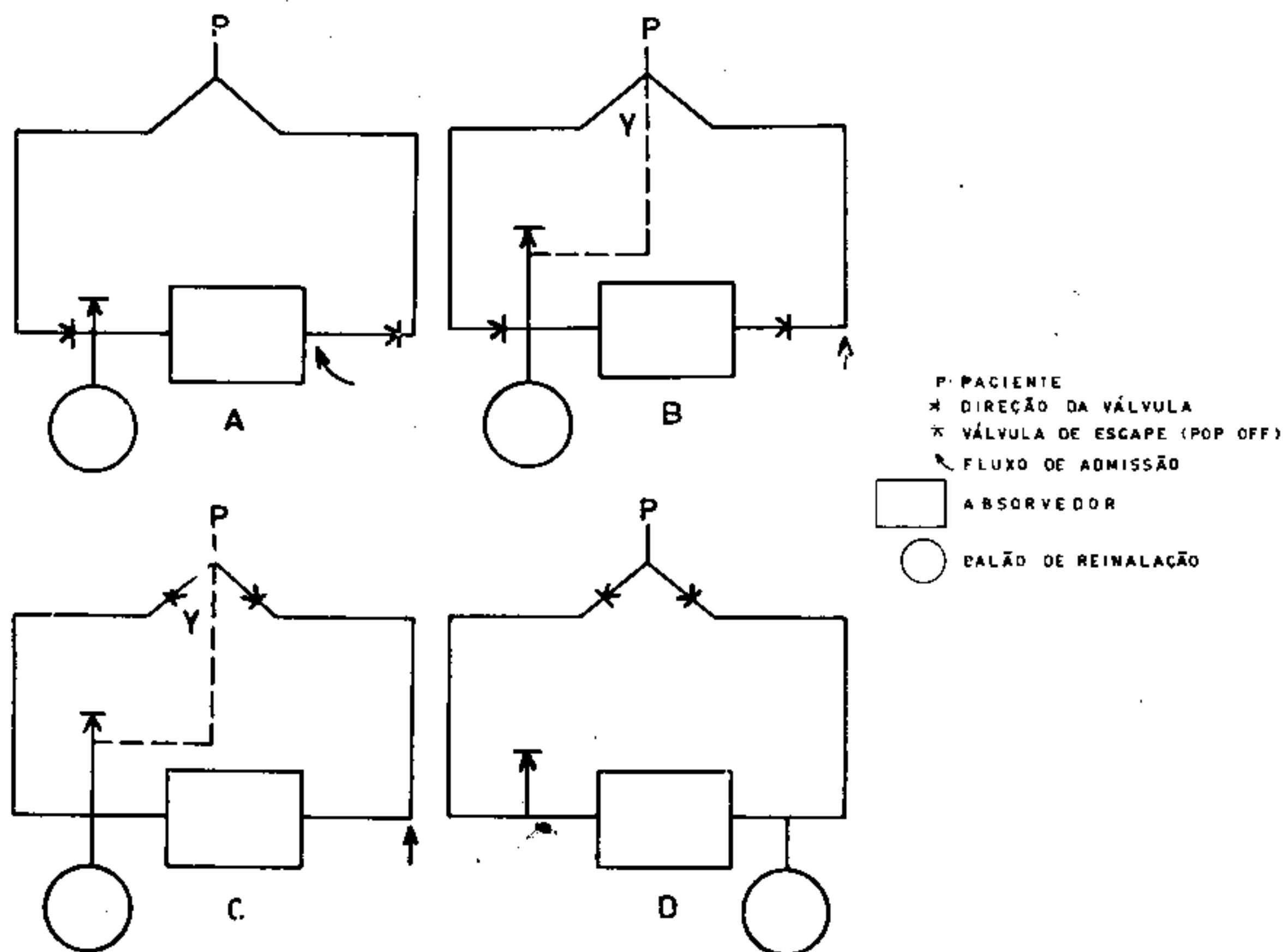


FIGURA 5

Variações da colocação dos componentes de um sistema com reinalação, (os dados estão na Tabela II). (Adaptado de Brown e col. *Anesthesiology*, 25, 31 1964 com permissão).

Na prática observa-se entretanto que a válvula de escape se abre no momento do fluxo mais rápido o que corresponde ao meio da expiração espontânea.

2 — *Em Respiração Controlada* — o aumento da pressão acima de certo valor, graduável na válvula de escape, permite a saída de determinada quantidade de gases contida no lado expiratório do conjunto. Os gases frescos não escaparão em virtude da posição da válvula expiratória, que nesse momen-

to está fechada. O que escapa são os últimos gases expirados ainda contidos na traquéia.

#### ENCHIMENTO DOS ABSORVEDORES

O enchimento de um filtro com cal sodada deve ser cuidadoso ou resultarão erros, tais como a formação de canalização do ar expirado (channeling). A seguir são transcritas as cinco regras formuladas por Neff, para um enchimento correto.

1 — Remover a cal sodada do estoque utilizando-se a mão ou um funil; não derramar grânulos em pequenos orifícios, pois isto causa fragmentação.

2 — Mantenha bem fechado o recipiente de estoque assegurando uma impermeabilidade à entrada de ar e possível evaporação da umidade necessária à cal.

3 — Evitar encher o filtro com poeira, bem como evitar a fragmentação dos grãos.

4 — Após a introdução de cada 2 a 3 dedos transversos de cal sodada, bater levemente com as mãos nas paredes do filtro; isto ajuda seu completo preenchimento através de uma sedimentação uniforme.

5 — Testar o filtro após seu enchimento soprando ou fazendo passar um fluxo de gases através dele, para retirar a poeira.

Num filtro vai e vem pouco cheio pode haver um falso caminho, se este for usado em posição horizontal, por onde o gás passa com menos resistência. Em qualquer absorvedor, a colocação errada de "anteparos" ou o enchimento errado reduzem consideravelmente sua eficiência.

#### SUMMARY

##### CARBON DIOXIDE ABSORPTION: A REVIEW

The most efficient way to eliminate carbon dioxide from a rebreathing system is by chemical absorption, which consists in a reaction of neutralization.

Carbon dioxide absorption is reviewed in all its main aspects, reactions are shown up to the final disposal of  $\text{CO}_2$ . The type of absorbent used, its physical characteristics such as size, shape, hardness and humidity of the grains are discussed. Indicators are used always and do serve their purpose in transparent cannisters. Anesthetic — lime chemical interaction are shown.

To-and-fro versus circle absorption methods are analysed and their advantages and disadvantages are compared in clinical situations. Reference is made to the size, form, capacity of absorber cannisters as well to their relationship with resistance to air flow, intergranular space and tidal volume.

The efficiency of absorption is analysed based on the concept of «absorption wave», and is influenced by total gas flow, the site of the directional valves, the rebreathing bag, the pop-off valve, during spontaneous or controlled ventilation.

Finally a practical approach to filling the cannisters properly with the absorbent is described.

### REFERÊNCIAS

1. Adriani, J. Chemistry and Physics of Anesthesia. C. Thomas, Springfield, Ill. 2.<sup>a</sup> Ed. 1962.
2. Brown, E. S., Bakamjian, V., Seniff, A. — Performance of absorbents. Effect of moisture — Anesthesiology 20:613, 1959.
3. Brown, E. S. — Voids, pores and total air space of carbon dioxide absorbents. — Anesthesiology 19:1, 1958.
4. Brown, E. S. — The activity and surface area of fresh soda lime. Anesthesiology 19:208, 1958.
5. Ten Pas, R. H., Brown, E. S., Elam, J. O. — Carbon dioxide absorption the circle versus the to-and-fro. Anesthesiology 19:231, 1958.
6. Brown, E. S. — Factors affecting the performance of absorbents. Anesthesiology 20:198, 1959.
7. Collins, V. — Principles of Anesthesiology Lea & Febiger, 2.<sup>a</sup> Ed. 1966, Cap. 15.
8. Brown, E. S. — Performance of absorbents. Continuous Flow. Anesthesiology 20:41, 1959.
9. Brown, E. S., Seniff, R. N. e Elam, J. O. — Carbon dioxide elimination in semiclosed systems. Anesthesiology 25:31. 1964.
10. Elam, J. O. — The design of circle absorbers. Anesthesiology 19:99, 1959.
11. Elam, J. O. — Channeling and overpacking in carbon dioxide absorbers. Anesthesiology 19:403, 1958.
12. Spiegel, P. e Gonçalves, B. — Absorção de CO<sub>2</sub> em sistema com reinalação: absorção com o filtro circular Narcosul 122. Rev. Bras. Anest. 17:153, 1967.

## MISCELÂNEA

*“Miscelânea” é uma seção da “Revista Brasileira de Anestesiologia”, para a qual todos os interessados na especialidade estão convidados a colaborar. Serão publicados em forma suscinta: descrição de casos interessantes e de aparelhos e pequenas idéias inventivas, sugestões técnicas, apresentação de experiência com agentes e métodos, matéria de interesse oriunda de qualquer fonte e correspondência em geral. Discreção editorial na escolha e preparo do material a ser publicado. Permissão de duas figuras no máximo. Nome e endereço do autor no final da publicação.*

### **HEMORRAGIA ACIDENTAL POR DESCOLAMENTO DE PLACENTA APÓS ANESTESIA POR HALOTANO — RELATO DE UM CASO**

Uma paciente grávida de oito meses, com história de abcesso no dente molar foi admitida para se submeter a uma extração dentária sob anestesia geral visto que a anestesia loco-regional havia se mostrado ineficaz.

Um exame físico sumário procedido mostrou pressão arterial de 100 x 70 mmHg, pulso com 90 bat/min e ausculta cardíaco-respiratória dentro da normalidade. A anamnese orientada, revelou uma gravidez de 8 meses com evolução normal, sem perdas sanguíneas ou problemas correlatos, em secundípara que não havia feito contrôle pré-natal.

A medicação pré-anestésica foi o Diazepam (Valium) 10 mg + Atropina 0,5 mg por via intramuscular, 30 minutos antes da cirurgia, com efeito considerado bom.

A indução foi feita por via venosa com Propanidid (500 mg) e administrada Succinilcolina (1 mg/kg) para entubação nasotraqueal. A anestesia foi mantida com Fluotano-Oxigênio em respiração controlada. O procedimento demorou 15 minutos, tendo a pressão arterial variado entre

22/2/77