

VAPORES E VAPORIZAÇÃO

DR. BENTO GONÇALVES, E.A. (*)

A utilização segura de anestésicos voláteis necessita, entre outros fatores, da escolha apropriada, não somente do agente anestésico propriamente dito, mas também da aparelhagem e do conhecimento sobre os princípios básicos em que se fundamentam dos meios adequados para sua aplicação.

O desempenho dos diversos tipos de vaporizadores está na dependência dos princípios físicos que são aplicados tanto para sua construção, como para o seu desempenho relacionado com o anestésico a ser empregado, sendo o assunto desta revisão.

Princípios Físicos

As moléculas de um líquido estão em estado constante de movimento e não se desintegram devido à força de atração mútua que exercem entre si. Na superfície do líquido, porém, algumas moléculas se movem verticalmente com velocidade suficiente para vencer a força atrativa, escapando assim para a atmosfera adquirindo o estado gasoso onde formam o que se chama de "vapor". Quanto maior for a temperatura do líquido, maior será o número de moléculas que subirão para a atmosfera acima do líquido, isto é, maior será a vaporização, ou seja, a passagem do estado líquido para o gasoso.

Num recipiente, em comunicação com a atmosfera, a evaporação cessa quando a concentração do vapor acima do líquido atinge a um determinado valor para uma certa temperatura; quanto mais alta for esta temperatura maior será a concentração final do vapor e quanto mais baixa for a temperatura, menor será concentração do vapor acima do líquido. Quando num líquido, em determinada temperatura, contido num recipiente fechado, o número de moléculas que evaporam é igual ao número de moléculas do vapor que entram no líquido, chega-se a um ponto de equilíbrio cha-

(*) Chefe do Serviço de Anestesiologia do Hospital Universitário da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

AP1697

1360

mado de "temperatura de saturação de vapor". Qualquer quantidade maior de vapor adicional ocasionará a sua condensação, isto é, a volta a forma líquida.

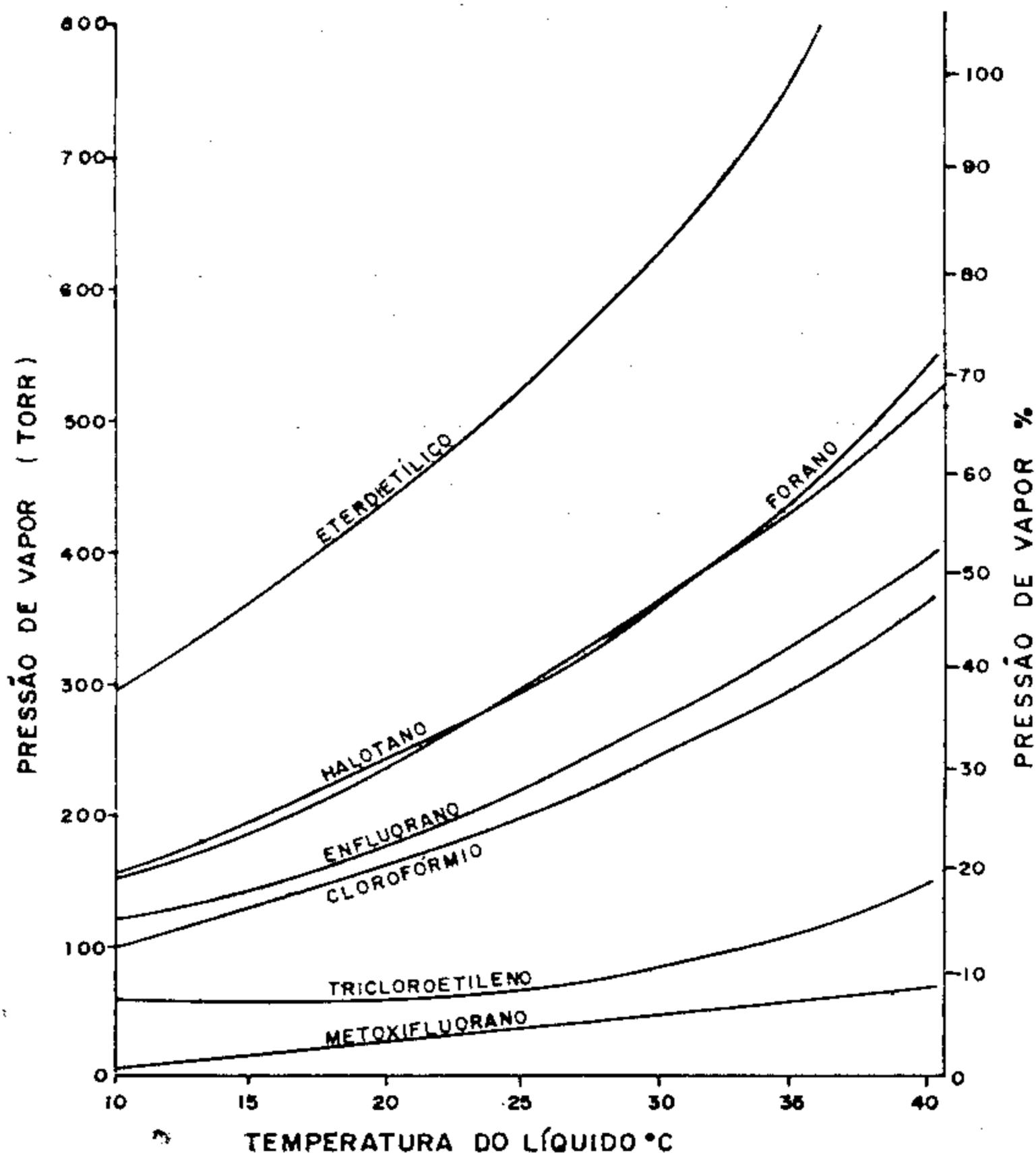


FIGURA 1

Curva de pressão de vapor de alguns anestésicos voláteis entre 10 e 40°C de temperatura.

Se a temperatura for aumentada mais moléculas deixam a superfície líquida e maior será a concentração de vapor, pelo contrário se a temperatura cair, as moléculas retornam ao estado líquido e será menor a concentração de vapor. Desta maneira é possível construir, para todos líquidos voláteis, a *curva de pressão de vapor*, com a relação entre a temperatura e a pressão de saturação do vapor de cada líquido (fig. 1).

Se a pressão parcial do vapor de um líquido em comunicação com a atmosfera se torna igual à pressão atmosférica, o vapor ocupa todo o espaço (100%) existente acima do líquido. A esta pressão parcial e temperatura as bolhas do vapor que se formam no interior do líquido fazem com que este entre em ebulição. O "ponto de ebulição" de um determinado líquido é a temperatura na qual a pressão de vapor se iguala à pressão atmosférica.

O processo de evaporação produz um gasto de energia representado pela força que vence a tendência natural das moléculas de um líquido de estarem em coesão. Durante a passagem de uma substância do estado líquido para o gasoso, a temperatura se mantém constante e a energia, sob forma de calor, usada para produzir a mudança de estado chama-se "*calor latente de evaporação*". Esta energia é retirada de uma fonte externa fornecedora de calor ou do próprio líquido. O "*calor latente de evaporação*" de um determinado líquido é o número de calorias necessárias para transformarem um grama de líquido em vapor, sem modificar sua temperatura.

O calor latente de evaporação de um líquido, varia com sua temperatura; quanto mais frio estiver o líquido, maior será a quantidade de calor necessária para transformá-lo em vapor; tornando-se, também, cada vez menor com o aumento da temperatura do líquido até que fica nulo, numa dita *temperatura crítica*. Em sua temperatura crítica, portanto, um líquido se transforma em vapor sem nenhuma modificação térmica.

O conceito de *temperatura crítica* é de que qualquer substância gasosa pode ser liquefeita por pressão desde que a temperatura esteja abaixo de um determinado nível. Acima de sua temperatura crítica, nenhuma substância pode existir no estado líquido, qualquer que seja a pressão aplicada.

A temperatura crítica do oxigênio, por exemplo, é -115° C, de maneira que não se poderá comprimí-lo até a forma líquida, em temperatura ambiente. Para que o oxigênio seja liquefeito é preciso que a compressão se faça em temperatura inferior a -115° C. A temperatura crítica do N_2O , é de 36.5° C e a pressão necessária para liquefazê-lo, abaixo dessa temperatura é de 74 atmosferas. Quanto mais o gás for resfriado menor será a pressão necessária liquefazê-lo.

Os termos *vapor* e *gás* não são fáceis de distinguir. Vapor, refere-se ao estado gasoso de uma substância que nas condições ambientes de temperatura e pressão, existe como líquido. Isto é, vapor é uma substância gasosa abaixo de sua temperatura crítica. Gás é uma substância que em temperatura ambiente existe no estado gasoso; sua liquefação é

impossível, desde que a temperatura ambiente está acima da temperatura crítica do gás.

Diferença entre calor e temperatura — Calor é uma forma de energia e pode ser adicionada a uma substância ou dela retirada. Temperatura é o estado térmico de uma substância que determina se esta dará ou receberá calor da outra, com que é posta em contato.

Caloria (cal) — É a unidade de calor e representa a quantidade de calor necessária para aumentar a temperatura de um grama de água em 1° centígrado.

Calor Específico — É o número de calorias necessárias para elevar a temperatura de um grama de uma substância em 1° C.

Para os líquidos o calor específico se expressa melhor em volume (ml) em vez de peso (g). Assim por exemplo:

O calor específico do éter é de 0.5 cal/g. Como um mililitro de éter tem o peso específico de 0.72 g/ml:

$$0.5 \times 0.72 = 0.36 \text{ cal/ml}$$

Portanto o calor específico de 1 ml de éter etílico é de 0.36 cal.

Em condições atmosféricas, o volume de uma substância em estado gasoso é centenas de vezes maior do que em sua forma líquida. Do mesmo modo, o calor específico é muito menor para os gases.

Um ml de éter líquido se volatiliza em 230 ml de vapor,

a 20° C. Seu calor específico será de: $\frac{0.36}{230} = 0.0016 \text{ cal ml.}$

Para se obter o volume de vapor produzido 1 cc de um líquido emprega-se o princípio de Avogadro que diz "Igual volume de gases nas mesmas condições de temperatura e pressão contém o mesmo número de moléculas". Logo uma molécula grama (mole) de qualquer gás, nas mesmas condições de temperatura e pressão ocupa o mesmo volume, que é de 22.4 L.

Assim:

$$\frac{\text{Peso molecular}}{22.4} = \text{Densidade do vapor}$$

isto quer dizer, o peso de um litro de gás.

Portanto para 1 cc, será:

$1.000/\text{densidade do vapor} = \text{densidade do líquido ou n.º de cc do vapor.}$

Por exemplo, para o éter etílico (P.M. = 74)

$$\frac{74}{22.4} = 3.3 \text{ gm (peso de um litro de vapor de éter)}$$

$$1.000/3,3 \times 0.72 = 220 \text{ cc em CNTP}^*$$

Para se saber a concentração de vapor numa mistura em temperatura ambiente, usa-se gasosa a fórmula da lei geral dos gases:

$$V_2 = V_1 \times \frac{T_2}{T_1} \times \frac{P_1}{P_2}$$

onde:

V_2 — é a quantidade de vapor produzida por certa quantidade de líquido.

V_1 — o volume de líquido vezes a densidade do vapor do mesmo.

T_1 — a temperatura ambiente em graus Kelvin (temperatura em centígrados mais 273).

T_2 — 273 graus (0°C)

P_2 — 760 mmHg

P_1 — pressão barométrica, do local da observação.

Exemplo:

Numa mistura de éter com um volume de 5 litros de oxigênio, vaporizaram-se 2 cc de éter, a uma temperatura de 26° C e 755 mmHg de pressão atmosférica. Qual a concentração de vapor de éter:

$$V_1 = 2 \times 220 = 440 \text{ cc de vapor em CNTP}$$

$$V_2 = 440 \times \frac{273 + 26}{273} \times \frac{755}{760}$$

$$= 440 \times 1.09 = 480 \text{ cc de vapor de éter}$$

A concentração de éter na mistura será

$$5.000 + 480 = 5.480$$

Se em 5.480 tem 480

em 100 existe x

$$\text{portanto } x = 8.7\%$$

A tabela I apresenta as principais propriedades físicas dos anestésicos voláteis com dados que permitem realizar os

* (Condições normais de temperatura e pressão = 0°C (273°K) e 760 mmHg).

cálculos acima exemplificados para qualquer anestésico. Com estes cálculos é possível a feitura de tabelas próprias a serem usadas com vários tipos de vaporizadores.

TABELA I

PROPRIEDADE FISICAS DE ALGUNS ANESTÉSICOS VOLÁTEIS

Anestésico	Eter Dietílico	Cloroformo	Halotano	Enflurano	Forano	Metoxifluorano	Tricloroetileno	Água
Peso Molecular	74	119	197	184	184	165	131	18
Ponto de Ebulição °C (760 torr)	34.6	61.2	50.2	56.5	48.5	104.6	87	100
Pressão vapor 20°C (torr)	440	160	243	175	239	23	60	17.5
Densidade do Líquido, g/c (20°C)	0.71	1.5	1.86	1.51	1.51	1.42	1.47	1
Densidade do vapor g/l (20°C)	2.55	4.12	6.9	7.54	7.54	6.68	4.53	—
Calor Latente de evaporação (cal/g)	87	64	35	42	41	58	58	540
Calor Latente de evaporação (cal/cc) 20°C	62	96	65	62	62	83	85	540
Calor específico do líquido (cal/g)	0.52	0.23	0.19	—	—	0.28	0.22	1
Calor específico do líquido (cal/cc)	0.28	0.35	0.35	—	—	0.41	0.32	1

VAPORIZAÇÃO DE ANESTÉSICOS

A vaporização de líquidos anestésicos pode se fazer de várias maneiras básicas:

1. *Gotejamento* — Usado fazendo gotejar o líquido sobre uma gaze, colocado num anteparo de metal (máscara aberta), onde o pano, por capilaridade, absorve o líquido permitindo uma ampla superfície de vaporização pela qual passam os gases em ambas as fases da respiração. Os gases aquecidos

da expiração proporcionam maior vaporização, como também permitem a condensação de água do ar expirado úmido chegando até a formação de gelo, quando a temperatura fica muito baixa por vaporização contínua. Isto traz certo retardo na vaporização, condicionando, junto com a perda para a atmosfera, uma concentração inconstante de anestésico.

Durante muito tempo usaram-se vaporizadores de gotejamento (p.ex: Foregger, CF₁) nos quais a abertura de uma válvula de agulha pode regular o número e o tamanho das gotas que caem numa câmara de vaporização incorporada ao sistema por onde passam os gases respiratórios. Em geral, o calor de vaporização pode ser aproveitado da reação da cal sodada ou dos gases expirados. Com este método é possível administrar uma quantidade conhecida de líquido num determinado tempo. A concentração de anestésico obtida varia com a natureza de líquido e com o volume contido no sistema respiratório. Como variante, pode ser usada uma seringa contendo o volume de líquido desejado.

2. *"Draw Over"* — (transportado em superfície) — Quando o fluxo intermitente de gases da respiração é quem transporta os vapores que estão acima de superfície líquida, no vaporizador. Neste caso, o vaporizador é colocado dentro do sistema respiratório da aparelhagem; logo, as aberturas de passagem dos gases devem ser amplas e oferecer a mínima resistência possível à respiração. Quando usados num sistema com reinalação e método circular, estes vaporizadores podem ser colocados tanto na parte inspiratória como na parte expiratória do sistema. Nesta última, a vantagem é de que os gases aquecidos, permanecendo em contato com o líquido possibilitam uma vaporização mais uniforme; mas, apresenta a desvantagem de maior condensação da água que provém da umidade dos gases expirados que se deposita na câmara de vaporização e pode dificultar seu funcionamento.

Exemplos de vaporizadores tipo "Draw-over" são: o EMO, o Heibrink n.º 8, o de McKesson, o "Cyprane", o de Goldman, etc.

3. *Fluxo contínuo de gases* — Permite um movimento molecular do vapor que se encontra sobre a superfície do líquido com vaporização contínua. Como a maioria dos anestésicos tem uma pressão de saturação de vapor bem acima da média das necessárias para obter plano anestésico usam-se meios para proporcionar sua diluição. Assim nos vaporizadores tipo "plenum" apenas uma parte do fluxo direcional de gases é derivada para passar pela câmara de evaporação entrando depois no fluxo adicional com o vapor diluído adequadamente na mistura.

A maioria dos vaporizadores atualmente em uso seguem este princípio, variando quanto a sua construção, conforme o tipo de anestésico a que se destina e de acordo com a influência de vários fatores (veja abaixo).

4. *Nebulização* — Neste caso o líquido é nebulizado por um jato de gás em partículas muito finas que a seguir se vaporizam, pela grande superfície líquido-gás que se forma. O método é muito pouco usado e até certo ponto perigoso de ser controlado.

5. *Vapor acima do ponto de ebulição* — Pela colocação do líquido num recipiente hermético, termicamente isolado e aquecido onde se faz fluir vapor puro saturado, através um fluxometro próprio, que será adicionado a mistura de gases frescos de admissão. Este método é caro e pouco prático (p. ex: Oxford Vaporiser n.º 2).

Fatores que influem na vaporização

Certo número de fatores, de acordo com os princípios físicos mencionados anteriormente, modificam a intensidade de vaporização e são usados na construção de diferentes vaporizadores. Destacam-se entre estes:

I — *A natureza do líquido* — O principal fator que condiciona a intensidade de vaporização de um líquido é sua natureza, isto é, suas propriedades físicas, principalmente a *tensão do vapor e sua densidade*. Em condições de pressão atmosférica normais é impossível obter concentrações maiores de um determinado líquido volátil do que aquelas ditadas pela sua curva de pressão de vapor.

II — *Temperatura* — A quantidade de vaporização está em relação direta com temperatura. São importantes, tanto a temperatura, ambiente como a do líquido vaporizado.

O volume de vapor formado por um líquido diminui 1/273 para cada grau centígrado de queda na temperatura (lei de Charles-Gay Lussac). A rapidez com que a temperatura cai depende da natureza do líquido, de seu calor latente de evaporação, do fluxo de gases com que este entra em contato e da capacidade de condução de calor do recipiente. O cobre, por exemplo é um excelente condutor de calor; seu calor específico é de aproximadamente 0.1 cal/g mas sua densidade é de 9.0, logo um cm³ pesa 9 gramas sendo capaz de conter cerca de 1 cal, geralmente transferível. Por isso, o cobre é usado na construção de vaporizadores (p. ex: Copper Kettle) para diminuir a queda da temperatura do líquido e assim manter uma vaporização mais uniforme.

III — *Superfície de contato* — Quanto maior for a superfície entre as fases líquida e gasosa maior será a intensidade de vaporização. Com esta finalidade tem sido usados vários artifícios:

a - mechas de pano mergulhadas no líquido aumentam a superfície de contato por se imbeberem de líquido;

b - paredes internas do vaporizador feitas de feltro que por capilaridade se imbebem de líquido aumentando a superfície;

c - borbulhamento — um fluxo de gases que borbulha dentro do líquido aumenta a superfície de contato e será tanto mais eficiente quanto maior for o número de bolhas formadas na unidade de tempo para um determinado líquido. O aumento de borbulhamento por maior fluxo de gases pode, com o tempo, ficar baixo, pela maior diluição ou pela queda da temperatura do líquido. A formação de microbolhas obtida pelo uso de borbulhador "Porex" (esfera de bronze trançada) facilita e aumenta o borbulhamento (e.g.: Cooper Kettle, vap. universal de Takaoka e Narcopen).

IV — *Tempo de contato líquido-gás* — Quanto mais prolongado for o tempo de permanência de contato entre as moléculas de vapor acima da superfície de um líquido mais próximo estará do ponto de saturação de vapor: portanto, maior a quantidade de vapor carregado. A altura da coluna do líquido dentro do vaporizador, pode influenciar, sobre o maior ou menor tempo de contato, nos vaporizadores de borbulhamento.

CARACTERÍSTICAS DE VAPORIZAÇÃO

O aperfeiçoamento técnico de câmaras de vaporização deu-se principalmente em função da necessidade de usar quantidades mais ou menos conhecidas de anestésicos potentes (clorofórmio, halotano, etrano), ou quando se faz necessário um rendimento máximo, para líquidos voláteis com baixa pressão de vapor (metoxifluorano, tricloroetileno). Como a pressão de vapor dos agentes mais voláteis é bastante alta, a concentração obtida fica bem acima das concentrações médias para uso seguro durante sua administração clínica. Deste modo, os vapores devem ser diluídos de alguma forma para se obter as concentrações desejadas.

Com esta finalidade desenvolveram-se vaporizadores capazes de, através um fluxo de gás medido, dar a conhecer a quantidade de vapor liberado (e.g. Copper Kettle, Vernitrol). Outros, foram construídos com capacidade de compensarem automaticamente, a variação em temperatura para manter

a concentração desejada do líquido volátil. Alguns vaporizadores (Fluotec II e III, Fluovapor) apresentam um elemento bimetálico sensível a temperatura, funcionando como termostato, na passagem de saída da câmara do fluxo dos gases de vaporização.

Mapleson, Mushin e Galloon analisaram as concentrações de líquidos voláteis que saem dos vaporizadores conforme sua colocação no sistema usado para administrar anestesia. Quando o vaporizador é usado num sistema sem reinalação, isto é, quando todo o ar expirado é eliminado para a atmosfera, a concentração de anestésico é conhecida, pelo menos de maneira global, sendo semelhante a que sai do vaporizador, durante todo o tempo. Entretanto, em sistemas com reinalação há a influência de outros fatores e assim, os vaporizadores podem ser divididas em dois grupos, conforme sua colocação no circuito respiratório.

a) *Vaporizador fora do circuito* — VOC (vaporizer outside circuit) — O vaporizador nesta posição pode ser usado com ambos os métodos o de vai/vem e o circular, sendo que a colocação do vaporizador é na linha dos gases frescos de admissão ao sistema.

b) *Vaporizador dentro do circuito* — VIC (vaporizer inside circuit) — Nesta condição o método usado de preferência é o circular; sendo que tanto a inspiração como a expiração podem passar por dentro do vaporizador. O rendimento depende parcialmente do fluxo de gases que vai ao paciente o qual está relacionado também com a posição de colocação na

TABELA II

	Vaporizador dentro do circuito (VIC)	Vaporizador fora do circuito (VOC)
Aumento de abertura no vaporizador	aumenta	aumenta
Aumento do fluxo de admissão	diminui	aumenta
Aumento de ventilação	aumenta	diminui
Tempo	equilíbrio em 10/20 min sem modificações mesmo com fluxo basal.	

Características básicas de desempenho de vaporizadores conforme sua colocação no circuito respiratórios. Adaptado de Mapleson.

parte ins ou expiratória do circuito; nesta, o rendimento aumenta pelo aquecimento dos gases expirados que passam sobre a superfície do líquido.

Em qualquer condição, diversos parâmetros influenciam diretamente sobre as concentrações obtidas pelos vaporizadores e ainda na concentração inspirada e na concentração alveolar. Tais variantes podem enumeradas de forma resumida:

- a - Concentração no vaporizador (VIC);
- b - Fluxo de admissão de gases frescos;
- c - Ventilação pulmonar;
- d - Fluxo de vaporização (VOC);
- e - Consumo de oxigênio e do anestésico pelo paciente.

A partir destes elementos foram observadas as variações contidas na tabela II.

Com bases nestes dados comparativos pode-se dizer que em mãos de um anestesista experiente qualquer uma das colocações de um vaporizador pode ser segura (ou insegura). Entretanto se o anestesista for menos experiente é melhor usar um vaporizador calibrado, VOC, se deseja usar respiração assistida ou controlada.

TABELA III

EFEITOS DA PRESSÃO RETROGRADA SOBRE O FLUOTEC MARK II

Pressão positiva	Mostrador do Fluotec %	Concentração Real de halotano
10 cm H ₂ O	0.5	0.9
	1.0	1.7
	2.0	2.4
	3.0	3.4
	4.0	5.7
20 cm H ₂ O	0.5	0.7
	1.0	2.5
	2.0	3.1
	3.0	4.1
	4.0	5.8
30 cm H ₂ O	0.5	3.2
	1.0	2.6
	2.0	3.1
	3.0	4.1
	4.0	6.0

Frequência respiratória 10/min; tempo inspiratório 1s; fluxo de oxigênio 500 cc/min. Adaptado de Hill & Lowe.

INFLUÊNCIA DA VENTILAÇÃO COM PRESSÃO POSITIVA INTERMITENTE (VPPI) SOBRE O VOC

Um fluxo baixo de gases de admissão passando por um vaporizador VOC recebe a influência de pressão retrograda durante a fase de insuflação modificando totalmente o padrão de vaporização e alterando as medidas do mostrador (tabela III). Para evitar este problema foram idealizados vários métodos. No "Vapor" de Dräger foi incorporado um longo tubo de entrada de modo que a pressão dentro da câmara, quando diminuída, não consegue chegar até ao fluxo principal de gases. Outro modo é usar uma câmara de vaporização pressurizada acima da pressão de insuflação. No "Fluotec" pode-se colocar na saída uma válvula de agulha de modo que a pressão interna seja mantida a 30 ou 40 mmH₂O. Uma válvula uni-direcional de mola, pode também ser utilizada, de modo que a pressão retrograda não penetre na câmara de vaporização (Oftec). O vaporizador Universal de Takaoka possui uma válvula que equilibra a pressão e como apresenta um orifício de saída com alta resistência, em fluxo alto há uma boa compensação.

O USO DE VAPORIZADORES SOB SITUAÇÕES HIPERBÁRICAS E HIPOBÁRICAS

A pressão de saturação de um vapor anestésico é função apenas da temperatura, por exemplo, a do halotano é de 243 Torr a 20 graus centígrados. Se a pressão barométrica for normal (760 Torr), então a concentração saturada será de 32% v/v. Quando a pressão ambiente é aumentada em mais 1 atmosfera para 2 at, a pressão de saturação permanece a mesma, 243 Torr a 20° C, mas a concentração saturada diminui a metade, isto é 16% v/v. Mas, em anestesia o que importa não é o volume de concentração, mas a massa do agente administrado por unidade de tempo. Portanto, no exemplo acima, a massa continua a ser quase a mesma, isto porque o aumento da pressão duplicou a densidade da mistura, aproximadamente. Daí porque as condições de anestesia permanecem mais ou menos as mesmas no caso de hiperbaricidade.

Em grandes altitudes, embora a concentração de vapor fique aumentada, a massa do vapor será aproximadamente constante.

SUMMARY**VAPOURS AND VAPORIZATION**

The choice and safe of volatile anesthetic agents depends on the physical properties of the agent and the basic principles of its appliance.

The performance of various types of vaporisers on different conditions and its basic construction principles are reviewed.

BIBLIOGRAFIA

- Dorsch J A, Dorsch S E — Understanding Anesthesia Equipment, William & Wilkins Co, Baltimore, 1975.
- Duffin J — Physics for Anaesthetics — Charles e Thomas, Springfield, Ill, 1976.
- Fabian L W, Bourgeois-Gavardin M, Stephen C R — A method for determining vapour concentration of volatile anesthetic drugs. *Anesthesiology* 19:51, 1958.
- Hill D W & Lowe H J — Comparison of concentrations of halothane in closed and semiclosed circuits during controlled ventilation. *Anesthesiology* 23:241, 1962. / 291
- Hill D W — Physics Applied to Anesthesia. Butterworth & Co, London, 1967.
- Morris L E — A new vaporiser for liquid anesthetics agents. *Anesthesiology* 13:587, 1952.
- Morris L E & Feldman S A — Considerations in the design and function of anesthetic vaporizers. *Anesthesiology* 19:632, 1958.
- Mushin W W, Galeon S — The concentration of anaesthetics in closed circuits with special reference to halothane (3). Clinical aspects. *Brit J Anaesth* 32:324, 1960.
- Mapleson W W — The concentration of anaesthetics in closed circuits with special reference to halothane (2). Theoretical study. *Brit J Anasth* 32:298, 1960.
- Macintosh R, Mushin W W & Epstein H G — Physics for the Anaesthetists and ed. Blackweel, Oxford, 1958.
- Nesi J A — Nociones de fisica aplicada a la anestesiologia. *Rev Arg Anest* 32: out/dez, 1974.
- Schreiber P — Anesthesia equipment, springer verlag. Berlin, 1972.
- Takaoka K — Vaporizador Universal de Takaoka. *Rev Bras Anest*, 15:18. 1965.