

## INFLAMAÇÕES E EXPLOSÕES DE AGENTES ANESTÉSICOS

B. ALVES RIBEIRO

Casos de inflamação e explosão devidos a gases e vapores anestésicos, alguns com graves consequências pessoais e materiais, continuam a ocorrer em salas de operações de hospitais norte-americanos. E a literatura científica que a respeito deles se acumulou, nos últimos trinta anos, já é farta de várias dezenas de contribuições.

Entre nós tem-se conhecimento de alguns casos de inflamação ou explosão de agentes anestésicos. Embora as informações disponíveis sejam escassas e incompletas, por carência quase absoluta de publicações sobre a matéria, a impressão que dum modo geral se colhe é de que não têm sido frequentes nem graves. E de prever-se entretanto que sua frequência aumente, dado o crescente emprêgo de agentes anestésicos inflamáveis, a menos que não esmoreça o indispensável espírito de prevenção.

Eis porque nos pareceu oportuno proceder a um exame geral do assunto, focalizando-o à luz dos ensinamentos que a experiência estrangeira, mórmente a norte-americana, condensou e chamando a atenção para os recursos de segurança de eficácia mais comprovada.

Ao fazê-lo não nos move o intuito de exagerar a importância do problema. Pelo contrário, embora saibamos que se temem e deploram as explosões, pela brutalidade, surpresa e subitaneidade de sua ocorrência e pela repercussão emocional decorrente das circunstâncias em que se verificam, apressamo-nos a registrar que os danos por elas causados são mínimos quando comparados com os extraordinários benefícios que aos pacientes trouxe a introdução dos modernos agentes anestésicos. Nos Estados Unidos, em cada 100.000 anestésias por via respiratória, ocorreu 1 explosão, em média, na estatística de Henderson<sup>1</sup>, e de 2 a 4, conforme o agente empregado, na de Woodbridge<sup>2</sup>. Embora se tenha verificado a morte do paciente em alguns casos, as consequências, quando apreciadas com frieza objetiva, são relativamente insignificantes à vista da notável redução de morbilidade e mortalidade por complicações anestésicas e pós-operatórias.

Não obstante, as inflamações e explosões constituem em si um problema, uma preocupação a merecer o melhor de nossa atenção.

### CONDIÇÕES E LIMITES DE INFLAMABILIDADE

Para melhor esclarecimento do assunto, convém lembrar que, em geral, para que se verifique uma inflamação ou explosão, é necessária a coexistência de três condições: 1) uma substância inflamável, 2) oxigênio e 3) uma fonte de ignição.

A primeira condição se apresenta com grande frequência nas técnicas correntes de anestesia geral por via respiratória, pois, com exceção do protóxido de nitrogênio e clorofórmio, os demais agentes anestésicos, gases ou vapores (ciclopropano, cloreto de etila, etileno, éter dietílico, éter divinílico, tricloroetileno), são inflamáveis.

A segunda condição, ou seja, a presença de oxigênio, é de ocorrência infalível, porque metabòlicamente indispensável, na anestesia respiratória; ou se trata do oxigênio do ar, ou de oxigênio puro, ou do oxigênio fornecido pelo protóxido de nitrogênio. Entretanto, para que ocorra a inflamação total da mistura gasosa, isto é, sua combustão pronta acompanhada de formação e propagação de chama, é preciso que a concentração do gás ou vapor inflamável se situe dentro do denominado intervalo de inflamabilidade. Este intervalo fica compreendido entre dois valores de concentração, um mínimo e outro máximo, designados, respectivamente, de limite inferior e superior de inflamabilidade. Aquém e além desses valores jamais se verificará a inflamação total da mistura, mas, no máximo, uma ignescência incompleta e circunscrita às vizinhanças da fonte de ignição.

A determinação dos limites de inflamabilidade de uma mistura gasosa, referidos geralmente em porcentagem por volume, está sujeita à influência de algumas condições experimentais (aparelho empregado, direção de propagação da chama, fonte de ignição, temperatura e pressão da mistura, porcentagem de vapor d'água presente, etc.). Com base no melhor critério de segurança, qual seja o de adotar os valores obtidos com aparelhagem e técnica que acusem os mais extremos limites, transcrevemos no Quadro I os limites de inflamabilidade dos gases e vapores anestésicos usuais.

QUADRO I — LIMITES DE INFLAMABILIDADE, TEMPERATURA DE IGNIÇÃO E DENSIDADE DOS PRINCIPAIS GASES E VAPORES EMPREGADOS EM ANESTESIA POR VIA RESPIRATÓRIA 3, 4

	Fórmula	Limites de Inflamabilidade						Temperatura de ignição (°C)		Densidade (Ar)
		Em Ar		Em O <sub>2</sub>		Em N <sub>2</sub> O		Em Ar	Em O <sub>2</sub>	
		Inferior	Superior	Inferior	Superior	Inferior	Superior			
Ciclopropano	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	2,45	10,45	2,48	60,00	1,60	30,30	498	454	1,45
Cloreto de etila	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> Cl	4,00	14,80	4,05	67,20	2,10	32,80	517	468	2,23
Éter dietílico	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> O	1,85	36,50	2,10	82,00	1,50	24,20	193	182	2,56
Éter divinílico	C <sub>4</sub> H <sub>6</sub> O	1,70	27,00	1,85	85,50	1,40	24,80	360	—	2,42
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	2,75	28,60	2,90	79,90	1,90	40,20	490	485	0,97
Tricloroetileno	C <sub>2</sub> HCl <sub>3</sub>	ininflamável		10,30	64,50	—	—	—	—	4,53
Clorofórmio	CHCl <sub>3</sub>	ininflamável								4,12
Protóxido de nitrogênio	N <sub>2</sub> O	ininflamável								1,52

Quanto à terceira condição — uma fonte de ignição, inúmeras são as possibilidades de sua ocorrência numa sala de operações. O conhecimento minucioso das fontes de ignição assume grande importância pelo fato de serem elas particularmente visadas pela quase totalidade das medidas preventivas. Preferimos por isso estudá-las à parte, logo adiante. Basta acrescentar por ora que todas elas agem em função de sua temperatura.

Denomina-se temperatura de ignição a temperatura mínima a que é preciso elevar uma parte da mistura gasosa, durante um tempo também mínimo mas variável conforme o caso, a fim de que a chama formada se propague a toda a mistura, independentemente de suprimento ulterior de calor. A temperatura de ignição não é uma constante física, já que seu valor, tanto quanto os limites de inflamabilidade, está sujeito à variação de certas condições experimentais. Por isso, e com o mesmo critério de segurança referido, as temperaturas de ignição que fizemos constar do Quadro I são mínimas.

#### INFLAMAÇÃO E EXPLOÇÃO. MISTURAS ANESTÉSICAS INFLAMÁVEIS E EXPLOSIVAS

A ignição total duma mistura gasosa poderá corresponder a uma inflamação ou uma explosão conforme a rapidez com que se processa a combustão. Costuma dizer-se que há explosão quando a combustão é extraordinariamente rápida e acompanhada de alta força expansiva, isto é, quando há veloz propagação duma onda de chama e pressão. As explosões verificam-se ordinariamente com concentrações mais ou menos afastadas dos limites de inflamabilidade. Fala-se em inflamação, que geralmente ocorre com concentrações iguais ou próximas aos limites de inflamabilidade, quando, por efeito de combustão relativamente mais lenta, a onda de chama se propaga com menor celeridade e sem o desenvolvimento simultâneo de pressão apreciável. O fenômeno, entretanto, num caso e outro, é fundamentalmente o mesmo, ou seja, uma combustão; apenas, mais ou menos rápida. Por isso, não é fácil estabelecer perfeita separação entre inflamação e explosão. Pelo contrário, em situações intermediárias de velocidade de oxidação, é difícil distinguir, até mesmo pela violência de seus efeitos, uma inflamação duma explosão. Além disso, a ignição duma mistura gasosa, cuja concentração se avizinha do limite inferior de inflamabilidade, e que habitualmente resulta numa inflamação, poderá redundar numa explosão se a direção de propagação da chama for ascendente, os gases estiverem em movimento e o espaço for confinado. Eis porque a ignição de misturas inflamáveis, dentro do recinto fechado representado pelo aparelho de anestesia e vias respiratórias do paciente, se acompanha geralmente de explosão. Eis ainda porque os limites de inflamabilidade são também denominados, por alguns, de limites de explosibilidade.

Convém esclarecer que explosões também podem ocorrer num hospital em virtude da pressão elevada sob que se encontram certos gases em seus reservatórios. Nas presentes notas, consideraremos apenas as inflamações e explosões que se verificam em misturas gasosas às pressões usuais.

Pela consulta ao Quadro I, verificará imediatamente, quem estiver familiarizado com as concentrações anestésicas correntes, que a grande maioria delas



cai dentro dos intervalos de inflamabilidade. Observa-se mais, no quadro, que tanto os intervalos como os limites superiores de inflamabilidade são, respectivamente, mais amplos e elevados com o protóxido de nitrogênio do que com o ar, e muito mais amplos e elevados ainda com o oxigênio; e os limites inferiores de inflamabilidade, ligeiramente mais baixos no ar do que no oxigênio, são sensivelmente mais baixos no protóxido.

Este último reparo deve ser registrado com interesse e associado aos ensinamentos de Jones e Thomas<sup>4</sup> relativos ao limite inferior de inflamabilidade de gases anestésicos misturados simultaneamente com oxigênio e protóxido de nitrogênio. Verificaram estes investigadores que o limite inferior de inflamabilidade da mistura dum gás com oxigênio baixa sensivelmente quando se substitui 75% ou mais do oxigênio presente por protóxido de nitrogênio, daí resultando que uma mistura anteriormente ininflamável poderá tornar-se inflamável quando se lhe introduz quantidade apreciável de protóxido. Assim, uma mistura de éter dietílico 2%-oxigênio 98%, que não é inflamável, terá seu limite inferior de inflamabilidade baixado para 1.65%, tornando-se agora inflamável, quando se substitui 75% do seu oxigênio por protóxido de nitrogênio. Chamam a atenção estes autores para o fato de alguns anestesiastas, principalmente na administração de éter dietílico em baixa concentração, substituírem parte do oxigênio por protóxido, na suposição errônea de que assim reduzem o grau de explosibilidade da mistura. Recomendam, por isso, que "quando se empregar éter em concentração baixa, é mais seguro associá-lo só ao oxigênio do que à mistura de oxigênio e protóxido de nitrogênio".

Ajunte-se, por fim, que as misturas de um gás ou vapor com ar são muito menos explosivas do que suas misturas com oxigênio ou protóxido de nitrogênio, isolados ou associados estes. O ar, com efeito, "possui ação retardadora sobre a força e propagação das ondas de pressão e chama", donde "a relativa inofensividade da combustão de qualquer agente anestésico misturado com ar"<sup>5</sup>. Esta observação interessa no que concerne à possível propagação de uma explosão para o interior do trato respiratório do paciente e explica a maior segurança relativa do método aberto de administração de éter.

Os autores não são concordes quanto à concentração explosiva ótima de cada gás ou vapor. À guisa de ilustração, entretanto, e dada a autoridade da fonte, citem-se os seguintes ótimos de explosibilidade em oxigênio: éter dietílico, 6-7%<sup>6</sup>, ciclopropano, 25%<sup>6,7</sup>, e etileno, 25%<sup>1</sup>.

No que respeita ao grau de explosibilidade de cada agente anestésico em si, é opinião predominante, confirmada pelo inquérito de Woodbridge junto a oitenta e sete anestesiastas norte-americanos e canadenses de larga experiência<sup>2</sup>, que quando misturados com oxigênio, ou com oxigênio e protóxido de nitrogênio no caso do éter, são igualmente perigosos o ciclopropano, o etileno e o éter (método fechado).

#### FONTES DE IGNIÇÃO

As fontes de ignição podem ser reunidas em três grupos principais: a) chamas expostas e corpos quentes, b) faíscas nos circuitos de instalação elétrica e c) descargas eletrostáticas.



## a) CHAMAS E CORPOS QUENTES

As chamas expostas e os corpos incandescentes ou aquecidos a temperaturas elevadas constituem fontes de ignição tão manifestas que não deixa de ser surpreendente sejam elas causa, e frequente, de inflamações e explosões em salas de operações. Na raiz do acidente encontra-se aqui, presente quase sempre, o fator humano, a manifestar-se sob as múltiplas formas de ignorância, descuido, displicência ou imprudência. No excelente trabalho de Greene<sup>3</sup>, de citação obrigatória, fruto que foi de cuidadosa investigação, figuram as chamas e corpos quentes como responsáveis por 25% dos 230 casos de inflamação ou explosão analisados. A taxa, convém esclarecer, diz respeito não só a agentes anestésicos administrados por via respiratória, como a outras substâncias inflamáveis utilizadas na limpeza, preparo ou antissepsia da pele ou do campo operatório (álcool, tinturas, éter, cloretila, etc.).

Figuram neste grupo, como fontes de ignição já arroladas, isqueiros, fósforos e cigarros acesos, lâmpadas de álcool, bicos de gás, aquecedores, lâmpadas endoscópicas, mancais superaquecidos de motores e bombas, etc. Mas nenhuma tem sobrelevado em frequência ao cautério; o que se compreende, dada a maior proximidade em que este necessariamente fica de concentrações gasosas inflamáveis. O emprêgo imprevidente, quando não obstinadamente imprudente do cautério pode determinar a ignição de gases que se acumulam em cavidades corporais, ou que saturam os lípidos de certos tecidos ou, ainda, que se exteriorizam do aparelho de anestesia por via de fugas, nos métodos fechados de administração, ou por vazão natural, nos métodos abertos.

## b) CORRENTE ELÉTRICA

É de observação corrente que faíscas se produzem a cada passo na operação das instalações e aparelhos elétricos. Ocorrem sempre no fechamento, abertura e regulação dos circuitos, como, por exemplo, no acionamento de chaves, inserção e retirada de pluges, ajustagem de reostatos e transformadores; sucedem-se repetidamente nos pontos de mau contato, de isolamento defeituoso; e verificam-se facilmente no caso de fios que, bruscamente estirados, se rompem ou desprendem dos bornes. Por pequenas que sejam, invisíveis às vezes, podem as centelhas deflagrar uma inflamação ou explosão quando saltam no meio de mistura gasosa altamente combustível. Nada mais é preciso acrescentar para que se apreenda, de golpe, a extensão do perigo representado por certas partes da instalação e pelos numerosos aparelhos dependentes da corrente elétrica que se encontram em salas de operações. São as chaves, pluges e tomadas, as lâmpadas portáteis de iluminação, as lâmpadas frontais e endoscópicas, o bisturi elétrico, o eletrocautério, os aspiradores e insufladores, as serras, perfuratrizes e trépanos, o negatoscópio, o aparelho de raios X, o eletrocardiógrafo, os esterilizadores, os aparelhos de sinalização e comunicação (campainhas, telefones, etc.), os amplificadores e, mais remotamente, as lanternas elétricas de bolso, as lâmpadas fotográficas ("photoflash", "photoflood"), os aparelhos de filmagem, etc.

## c) ELETRICIDADE ESTÁTICA

A eletricidade estática, como é sabido, além de outras possíveis modalidades de formação, gera-se comumente por efeito do atrito entre dois corpos. Se um desses corpos for mau condutor de eletricidade, a carga desenvolvida tende a se imobilizar à sua superfície, circunscrevendo-se praticamente à zona atritada, e assumindo sinal contrário à do corpo atritante. A aproximação ulterior doutro material de potencial suficientemente maior ou menor, do mesmo sinal ou de sinal contrário, poderá provocar a formação de uma centelha que, saltando entre os dois materiais, tenderá a igualar ou neutralizar as cargas elétricas em jogo.

Percebem-se também aqui, de pronto, as inúmeras possibilidades de formação de eletricidade estática numa sala de operações. O atrito se verifica, a todo momento, na manipulação do paciente e na movimentação do material e do pessoal da equipe cirúrgica e, no que concerne ao aparelho de anestesia, no fluxo de gases em seu interior, na abertura e fechamento de válvulas, na inflação e deflação do balão respiratório, na conexão entre a máscara e face do paciente, no manuseio geral do aparelho pelo anestesista e no seu transporte dum local para outro. Os materiais maus condutores são representados pela borracha comum, quer a de revestimento da mesa operatória, de suportes ou mesmo do piso, quer sobretudo a constituinte do balão, tubos e máscara dos aparelhos de anestesia; pelos tecidos de lã, seda e fibras sintéticas (rayon, nylon, etc.) usados externamente como roupa ou agasalho do pessoal hospitalar e do paciente; por certos artigos de matéria plástica utilizados para os mais diversos fins.

As cargas desenvolvidas, embora pequenas em quantidade, acusam potenciais surpreendentemente elevados. Woodbridge e colaboradores<sup>8</sup> verificaram experimentalmente, empregando métodos rigorosos de medida, que um anestesista, trajando roupa de algodão, adquiria um potencial de algumas centenas de volts ao deslocar-se sobre uma almofada de borracha, encapada de oleado, que recobria o banco em que se assentava. Foi esta, aliás, segundo os autores, a causa provável da faísca determinante de séria explosão num hospital de Boston, em 1938, minuciosamente descrita no trabalho que acaba de ser citado. O potencial era consideravelmente maior quando, ao repetir a experiência, o anestesista trajava fato de lã. Uma corrente de ar, ensejada pela abertura de uma porta, elevava o potencial da mesa operatória de 50 volts. A colocação dos panos de campo sobre o paciente conferia-lhe um potencial de 40 volts e a inserção dum chumaço de gaze sob sua nuca elevava-lhe o potencial de 150 volts. Williams<sup>9</sup> registrou diferenças de potencial de 1.000 volts e acima pelo atrito mútuo de superfícies de borracha. Morrill<sup>10</sup> informa que um homem, calçando sapato de sola de couro, adquire carga superior a 500 volts ao dar quatro passos sobre um piso de ladrilho seco, e Horton<sup>6</sup> assevera que um potencial da ordem de 1.500 volts se pode desenvolver ao retirar-se um travesseiro de sua fronha. E iríamos longe se fôssemos transcrever os resultados de medidas análogas a que procedeu Newcomer em sala de operações e durante uma intervenção cirúrgica<sup>11</sup>, valendo-se dum voltômetro eletrostático de construção especial.

Nos Estados Unidos, a eletricidade estática, no cômputo das estatísticas e na opinião uniforme dos autores, é causa frequente de inflamações e explosões

de agentes anestésicos. No inquérito de Greene<sup>5</sup>, ela figura em 27,4% das ocorrências, e no de Ciliberti<sup>12</sup> em 46,4%. Além disso, porque as descargas geralmente ocorrem no interior ou vizinhança próxima do aparelho de anestesia, a consequência é quase sempre uma explosão que se estende às vias respiratórias do paciente, de efeito não raro mortal. De fato, as investigações da Junta de Segurança, da Associação Americana de Hospitais, autorizam a concluir, com insignificante margem de dúvida, que tôdas as explosões fatais ocorridas nos Estados Unidos, em 1948, foram provocadas por descargas eletrostáticas<sup>13</sup>. Daí o serem particularmente temidas, nesse país, as faíscas estáticas. Daí também o interêsse todo especial dos norte-americanos pelas medidas preventivas da eletricidade estática.

Entre nós, temos conhecimento de um caso apenas<sup>14</sup> em que a causa presumível da explosão foi a eletricidade estática. Em que pese a falta de dados, já que quase nada se tem publicado a respeito, é lícito supor-se sejam muito raras em nosso meio as inflamações e explosões desta origem. A explicação, talvez, resida no grau maior de umidade do nosso clima, conforme teremos ocasião de referir mais adiante.

#### ZONA DE PERIGO

A exteriorização de gases dos aparelhos de anestesia, por via de fugas ou vazão natural, torna plausível a suposição da ocorrência de misturas inflamáveis no ar ambiente da sala de operações. Entretanto, determinações *in loco* e investigações de casos de inflamação ou explosão permitem concluir que, mercê da difusão e dispersão no ar ambiente, os gases exteriorizados dificilmente se encontram em concentrações perigosas além dum raio de sessenta centímetros ao redor de qualquer ponto de evasão. Eis porque em geral se admite como zona efetiva de perigo apenas aquela que se situa na vizinhança mais próxima da cabeça do paciente e aparelho de anestesia.

O etileno, por exemplo, pouco mais leve que o ar (Quadro I), é reconhecidamente muito difusível, em que pese a opinião em contrário, e aparentemente infundada, de alguns autores<sup>15, 16</sup>. Difusível também é, embora menos que o etileno, o ciclopropano, o que se deve à sua grande "atividade"<sup>6</sup>, e a despeito de seu peso. Já o éter dietílico, bem mais pesado que o ar, como os demais agentes voláteis, tem fraco poder difusor; em compensação, as concentrações de sua administração anestésica são muito mais baixas do que as dos dois hidrocarbonetos.

O éter dietílico, entretanto, se raramente ascende a concentrações explosivas no ar da sala de operações, oferece risco não desprezível de inflamação inesperadas, mórmente quando administrado pelo método aberto. E que, por seu peso, tende a descer para planos inferiores e, aos poucos, acumular-se sobre a superfície do piso, quando não sobre a própria mesa operatória, entre as dobras de cobertas e panos de campo. Forma assim verdadeiras poças ou bolsas, prontas a inflamar-se à aproximação duma fonte de ignição. E as poças, quando volumosas, tendem a fluir ao longo do piso, como as de água, em correntes de vapor que, numa ou noutra direção, se podem estender a distâncias apreciáveis. Se em seu curso, então, esbarram numa fonte de ignição, inflamam-se brusca-



mente e uma labareda percorre em sentido oposto toda a extensão da corrente. As consequências não vão, geralmente, além de surpresa e susto e uma ou outra queimadura. Mais raramente o fogo atinge o reservatório de éter que então explode, estilhaçando-se.

O ciclopropano, mais pesado que o ar, também tende, embora em grau muito menor que o éter, a formar poças e bolsas<sup>10</sup>. No curioso caso relatado por Lamb<sup>17</sup>, por exemplo, a inflamação do ciclopropano se iniciou no interior do bolso do avental duma enfermeira, onde se acumulara.

Aproveite-se o ensejo para chamar a atenção, no que concerne ao éter dietílico principalmente, para o perigo que podem oferecer os corpos quentes, embora não incandescentes. A temperatura de ignição da mistura de vapor de éter com ar ou oxigênio fica, com efeito, muito aquém da temperatura de calor rubro (Quadro I).

As considerações precedentes permitem compreender o acerto do critério firmado pela norma norte-americana de segurança em salas de operações<sup>18</sup>, que manda se estenda o conceito de zona de perigo a todo o espaço da sala compreendido dentro de um metro e meio acima do piso. É sobretudo para esse espaço, pois, que deve convergir a atenção de quem se interessa pela prevenção de inflamações e explosões de gases e vapores anestésicos. Dentro dele devem ser observados e aplicados todos os preceitos e recursos de segurança.

#### MEDIDAS PREVENTIVAS

##### a) CHAMAS EXPOSTAS E CORPOS QUENTES

Deve ser rigorosamente banido da sala de operações, ou nela proibido, tudo quanto, dispensável ou substituível, possa, por sua chama ou elevada temperatura, provocar a inflamação de agentes anestésicos. A proibição de fumar e o aviso de perigo de fogo devem ser afixados à entrada da sala.

As lâmpadas frontais e principalmente as endoscópicas não se devem aquecer demais, quando usadas prolongadamente. O vidro de suas paredes deve ser suficientemente resistente, pois sua ruptura, além de outras consequências, implicaria na exposição do filamento incandescente.

Os eixos e mancais devem ser convenientemente lubrificados, bem como outras peças de máquinas cujo atrito possa determinar grande elevação de temperatura.

O bom critério de segurança aconselharia que se renunciasse totalmente à administração de gases e vapores anestésicos inflamáveis quando o ato cirúrgico requer o emprego do cautério ou de outros aparelhos elétricos de que falaremos mais adiante. Isso entretanto, pelo menos por enquanto, não é realizável senão em parte; pois, tal seja o tipo de intervenção cirúrgica ou as condições particulares do caso clínico, poderia ser muito menos seguro ainda, para o êxito da operação e bem-estar do paciente, a substituição do agente ou via anestésica. O que cumpre fazer, então, é cercar o uso de tais aparelhos da necessária cautela.

No que toca ao cautério, seria impossível fixar regras de seu emprego, já que o perigo de inflamação ou explosão decorre de um conjunto de condições

muito variáveis dum caso para outro, quais sejam, entre as principais, a região a cauterizar, o agente ou agentes anestésicos utilizados e sua concentração, o método e o tempo decorrido da administração anestésica e a direção das correntes naturais ou artificiais de ar ambiente. A judiciosa ponderação destes fatores ditará a conveniência ou não do emprêgo do cautério e, numa situação emergente, a decisão final deve caber ao anestesista. (Ao anestesista, dissemos. Com efeito, no caso de indicação imprevista, e a menos que não haja educação de segurança, o emprêgo do cautério, como de qualquer aparelho elétrico, durante o ato operatório, deve depender do consentimento do anestesista. Diz Orr<sup>19</sup>, e acertadamente, que isto deve ser “regra inviolável”).

Dum modo geral, podem referir-se as seguintes precauções no uso do cautério: 1) distância mínima de sessenta centímetros entre o local de sua aplicação e a boca do paciente, principalmente nos métodos abertos de administração; 2) emprêgo, quando possível, do método fechado, certificando-se cuidadosamente da inexistência de fugas; 3) anteparos suficientemente amplos, em altura e largura, entre o campo e a cabeça do paciente; 4) corrente de ar de cima para baixo e dos pés para a cabeça do paciente. Guedel<sup>16</sup> lembra ainda a posição de Tredelenburg, no caso do éter (mais pesado que o ar) pelo método aberto.

O emprêgo associado das medidas 2), 3) e 4) permite encurtar a distância referida em 1). De qualquer modo, porém, deve ser proscrito o emprêgo do cautério na boca, nariz, pescoço, terço superior do tórax e cavidade pleural, quando se administram agentes anestésicos inflamáveis.

Quanto ao emprêgo do cautério em outras cavidades — onde os gases se podem acumular por difusão lenta, provenientes dos tecidos saturados, ou relativamente rápida, por via de comunicação natural com o trato respiratório, como é o caso da cavidade gástrica — a decisão cabe ao anestesista.

Temos conhecimento de duas explosões ocorridas no Brasil, consequentes ao emprêgo do cautério<sup>20</sup>. Num dos casos tratava-se de intervenção no estômago, com anestesia pelo ciclopropano sem intubação da traquéia. A explosão se verificou ao introduzir-se o cautério na cavidade aberta e foi fatal para o paciente. No outro, caso de afecção nasal, fez-se a anestesia pelo cloretila em máscara aberta. Retirada a máscara, após haver o paciente entrado em plano cirúrgico, a explosão ocorreu quando o cirurgião aproximava o cautério da face, a cerca de trinta centímetros desta. Não houve neste segundo caso nenhum dano pessoal.

Acrescente-se finalmente, a respeito do cautério, que, além da possível introdução de riscos de outra ordem, a insegurança persistiria se se tentasse contornar a dificuldade suspendendo momentaneamente a anestesia e afastando a aparelhagem anestésica. O mesmo se diga em relação à substituição momentânea do agente anestésico por outro não inflamável, salvo se procedida com antecedência suficiente para que o organismo do paciente se desembarace do primeiro.

#### b) CORRENTE ELÉTRICA

Tôda a instalação e os aparelhos elétricos, quando situados ou utilizados até a altura de um metro e meio acima do piso — é a exigência da norma



norte-americana<sup>18</sup> — devem preencher os requisitos de segurança contra explosão.

A descrição dos pormenores técnicos relativos a material, montagem e acabamento, que conferem ao equipamento elétrico a garantia contra explosão, ultrapassa o objetivo destas notas. Limitar-nos-emos aqui a chamar a atenção apenas para alguns aspectos mais importantes do assunto. Para maior esclarecimento, deverão os interessados recorrer às normas e códigos que tratam da matéria<sup>18, 21, 22, 23</sup> ou aos fabricantes e fornecedores desses artigos.

Dum modo geral, um dispositivo elétrico diz-se à prova de explosão quando encerrado em envoltório capaz não só de resistir à explosão que possa ocorrer em seu interior como de impedir a ignição da atmosfera gasosa exterior por efeito de faísca, inflamação ou explosão interna. Assim, os plugues e tomadas de segurança de certo tipo, por exemplo, são construídos de tal modo que o contato das partes metálicas condutoras, isto é, o fechamento do circuito, só se pode estabelecer quando, mediante encaixe rotatório prévio dos suportes, o conjunto das duas peças já formou um recinto fechado. Inversamente, o movimento rotatório de desencaixe e separação das peças tem que forçosamente suceder à perda de contato entre as partes condutoras, isto é, à interrupção do circuito.

A lâmpada cirúrgica, ao contrário das portáteis, situada como é acima de 1,5 m do piso, não precisa ser à prova de explosão; mas a chave que a aciona deverá sê-lo, quando incorporada ou apensa ao aparelho. Além disso, requer-se a proteção da lâmpada contra choque mecânico.

A fim de evitar choques elétricos, por vezes de sérias consequências, e possíveis faíscas, a caixa dos motores e as partes metálicas expostas da armação dos aparelhos devem ser ligadas à terra. Para êsse efeito, requer-se cordão especial, de três condutores, de modo a apresentar uma via distinta para a ligação em aprêço. Neste caso, é óbvio, os plugues e tomadas, como aliás sucede nos de segurança acima descritos, devem ser de três polos, um dos quais para condução terra.

Os cordões de ligação de aparelhos elétricos deverão ser contínuos em toda a sua extensão, sem chaves, e de tipo especialmente resistente, além de providos de condutor perfeitamente isolado para efeito da ligação terra há pouco referida.

A voltagem dos aparelhos e equipamentos que apresentam condutores expostos, como o cautério de filamento incandescente, ou sejam usados junto ao corpo, como lâmpadas frontais e endoscópicas, não deve exceder de 8 volts. Convém lembrar que qualquer interrupção do circuito, não obstante sua baixa voltagem, pode produzir faísca suficiente para inflamar mistura gasosa altamente combustível. Eis porque, principalmente no caso de material endoscópico, todas as conexões devem ser rigorosamente verificadas antes do uso. As chaves serão à prova de explosão. No caso de a instalação fornecer corrente de baixa voltagem, os plugues e tomadas devem ser de tipo distinto dos similares servidos pela corrente comum, a fim de evitar confusão de consequências danosas, e à prova de explosão, quando situados abaixo de 1,5 m.

E' importante que a sala de operações, como requer a norma norte-americana de segurança<sup>18, 24</sup>, tenha seu circuito elétrico próprio, isolado do principal e derivados, e sem ligação terra; isto é, a corrente deve provir do secundário



não aterrado dum transformador à parte, de tipo seco e convenientemente localizado. Numa instalação assim, com efeito, reduz-se o perigo de choques e faíscas decorrentes dum eventual defeito de isolamento nos condutores.

Os aparelhos e equipamentos elétricos de boa procedência, destinados ao serviço de salas de operações, são geralmente construídos de acôrdo com as regras de segurança, inclusive no que respeita a chaves, cordões e plugues. Mas o problema surge quando, entre nós, se procuram tomadas de segurança que admitam os plugues com que os aparelhos vêm equipados: nem sempre se encontram no mercado, porque não se fabricam no país, ao que saibamos, e não há facilidade em importá-las. A solução então, como temos tido ocasião de observar, é a seguinte: retira-se simplesmente o plugue de segurança e substitui-se por um plugue comum de duas entradas. Vale dizer, fica-se sem segurança contra centelhas na conexão e sem possibilidade de desviar para terra correntes porventura extravasadas. É deplorável. Dificuldade análoga ocorre, aproveite-se o ensejo para dizê-lo, quando se precisa de outros materiais de segurança, como, por exemplo, artigos de borracha condutora. A situação, como se apresenta entre nós, não deve perdurar e reclama o interesse e iniciativa de nossas sociedades médicas e dos responsáveis pela segurança de nossos hospitais.

Do rol de aparelhos elétricos atrás referidos, são particularmente de temer-se, por sua maior vizinhança dos agentes anestésicos inflamáveis, o de raios X, o bisturi elétrico, as serras e trépanos, o equipamento endoscópico e os aspiradores e insufladores. Na estatística de Greene<sup>3</sup>, os aparelhos elétricos foram responsáveis por 94 (41%) dos 230 casos de inflamação e explosão analisados.

No que toca ao bisturi basta lembrar a impossibilidade prática de eliminar a ocorrência de faíscas entre sua extremidade e o corpo do paciente, ainda mesmo que se observe o cuidado de fechar o circuito só após estabelecimento de contato entre as partes. Eis porque todos os cuidados referidos a propósito do cautério devem ser observados com o mesmo ou maior rigor em relação ao bisturi.

Conseguimos informes sobre quatro casos de explosão ocorridos no Brasil, devido ao uso do bisturi elétrico<sup>20</sup>. Num dêles procedia-se a uma tireoidectomia com anestesia pelo ciclopropano e éter. A explosão verificou-se no campo operatório, em gases extravasados, ao que se presume, e propagou-se ao aparelho de anestesia que sofreu alguns danos. No outro realizava-se uma plástica de traqueotomia com anestesia pelo éter, não havendo a explosão se propagado às vias respiratórias do paciente. No terceiro, de diminutas proporções, a ignição se verificou quando, com anestesia pelo ciclopropano, o bisturi começava a ser manipulado na cavidade pleural. Não houve consequências para os pacientes nem quaisquer outros danos pessoais nestes três casos. No quarto caso, o mais interessante dêles, a intervenção era no estômago, com anestesia pelo ciclopropano. Procedeu-se à intubação da traquéia, mas sem o manguito de oclusão ao redor da sonda. A explosão ocorreu ao abrir-se a parede gástrica com o bisturi e, além de consequências de menor monta, determinou rupturas do intestino delgado. Recobrado o domínio da situação, a intervenção prosseguiu com as suturas intestinais e realização da gastroduodenectomia, que era o objetivo visado. O pós-operatório foi bom, vindo o paciente a falecer cerca de um mês depois, em virtude de complicação intestinal aparentemente estranha ao acidente operatório.

Quanto aos raios X, ninguém ignora a multiplicidade de centelhas e arcos que, nos mais diversos pontos, se podem produzir durante a operação do aparelho; o que torna o seu emprêgo excessivamente perigoso nas proximidades de gases inflamáveis. Ao que parece, não se têm construído aparelhos de raios X inteiramente à prova de explosão porque seu preço seria quase proibitivo. Deve, portanto, ser excluído o emprêgo dos raios X quando se administram agentes anestésicos altamente combustíveis, ainda que por método fechado. Esta é a opinião predominante nos Estados Unidos. Foi também a conclusão radical a que chegou Greene, em 1941<sup>5</sup>, estendida aliás ao bisturi elétrico, ao encerrar seu inquérito sobre incêndios e explosões em salas de cirurgia. A solução consistirá no emprêgo da mistura protóxido-oxigênio associada a outras vias e agentes anestésicos<sup>25</sup>.

### c) ELETRICIDADE ESTÁTICA

Oriunda geralmente de atrito, não se pode evitar a formação de eletricidade estática. Mas pode e deve evitar-se o acúmulo de potenciais elevados, providenciando o fácil escoamento das cargas, tão cedo elas se formem. O recurso consiste, fundamentalmente, no emprêgo de materiais condutores ou, onde não possa ser o material substituído, no reforço de sua condutibilidade.

*Umidificação do ar ambiente* — A umidificação do ar foi, de há muito, lembrada e proposta como um recurso eficiente na prevenção da eletricidade estática. O ar úmido conduz melhor a eletricidade. Além disso, e o que é mais importante, a umidade, depositando-se sobre a superfície de todos os corpos, sob a forma de uma película invisível, aumenta-lhe seguramente a condutibilidade. Um ar úmido pois, atingindo tôdas as superfícies, dissiparia e igualaria prontamente as cargas eletrostáticas. Têm sido recomendadas, para êsse efeito, umidades relativas de 55% ou mais.

Diversos têm sido os partidários do ar úmido, quer como o melhor recurso<sup>26, 27</sup>, quer como recurso adjuvante<sup>1, 5, 8, 9, 16, 28, 29, 30</sup> contra o risco das descargas elétricas em salas de operações. Greene<sup>5</sup>, em 63 explosões devidas à eletricidade estática, verificou uma umidade relativa de 60% e acima em 2 casos, 54 a 55% em 3, abaixo de 50% em 32, e não referida em 26. Williams<sup>9</sup>, com base em seus próprios experimentos, afirma que uma umidade relativa de 60% garante o pronto escoamento de cargas elétricas na superfície dos tubos e balões de borracha comum dos aparelhos de anestesia, tendo ainda o mérito adicional de retardar a evaporação das vísceras expostas no ato operatório.

Alguns autores, entretanto, não confiam no papel preventivo da umidade do ar, havendo quem, como Herb<sup>31</sup>, receie a dependência em que se ficaria de uma condição que, quando artificialmente mantida, através de condicionamento do ar, poderia falhar e importar em sérias consequências. Woodbridge e colaboradores<sup>8</sup>, embora partidários da ação adjuvante da umidade, são reservados quanto ao alcance da medida, esclarecendo que, mesmo em presença de uma umidade relativa de 65%, conseguiram obter experimentalmente faíscas de intensidade suficiente para inflamar misturas explosivas.

Não é infundado supor-se que a divergência de opinião quanto ao mérito da umidade do ar resulte, em parte, do próprio significado de umidade rela-



tiva. Se é o vapor d'água que confere condutibilidade ao ar e às superfícies sôbre que se condensa, o que importa é a sua quantidade absoluta, como pondera Yaglou<sup>32</sup>, e não a quantidade relativa. E' sabido, doutro lado, que a quantidade absoluta máxima ou saturante, em que o vapor d'água pode existir num espaço qualquer, varia com a temperatura. Resulta daí que a valores idênticos de umidade relativa podem corresponder quantidades muito diversas de vapor d'água, conforme a temperatura reinante.

Outro fator, a explicar possivelmente o conflito de opiniões, consistiria na existência de maior ou menor quantidade de eletrólitos, tanto no ar quanto à superfície dos corpos. A água em si, sabe-se, é má condutora da eletricidade; sua condutibilidade ela a deve aos eletrólitos que tem em solução. Funcionariam como eletrólitos o gás carbônico do ar, de teor variável na atmosfera dos interiores, e substâncias as mais diversas, em quantidade e qualidade, que aderem à superfície dos corpos.

A atual norma norte-americana<sup>18</sup>, embora reconhecendo que uma umidade atmosférica elevada tende a reduzir o perigo das descargas eletrostáticas, não a considera como recurso preventivo suficientemente seguro e, conseqüentemente, não estabelece qualquer exigência quanto ao grau higrométrico do ar das salas de operações.

Entre nós, é grande o número dos que acreditam que os teores naturais de umidade atmosférica, geralmente elevados, constituem proteção suficiente contra o perigo de centelhas eletrostáticas. E' verdade, com efeito, que, sem o inverno rigoroso e sem o aquecimento artificial dos norte-americanos, nossos interiores não são tão secos quanto os deles. E' verdade que em 46 dos 63 casos de explosão devidos à eletricidade estática estudados por Greene<sup>5</sup>, em que a época de ocorrência foi averiguada, apenas 2 se verificaram no verão, ou seja, quando a umidade atmosférica natural é habitualmente elevada; e a recente estatística de Ciliberti<sup>12</sup> confirma essa incidência sazonal. E' sabido, mais, que as explosões por eletricidade estática em salas de operações são raras nos países de clima relativamente úmido, como a Inglaterra e Austrália<sup>5</sup>, França<sup>33</sup> e Cuba<sup>34</sup>.

Convém, entretanto, ponderar que essa condição meteorológica, feliz para nós, no caso particular, não representa garantia absoluta. Williams<sup>9</sup> refere que, duma feita, durante o verão e em dia de chuva, registrou uma umidade de apenas 30% dentro duma sala de operações, no Hospital Presbiteriano de Nova York, situado a curta distância do rio do Norte. Em São Paulo, durante a época da sêca, coincidente com certa fase do inverno, e segundo observações a que procedemos pessoalmente no Posto Meteorológico da Faculdade de Higiene, a umidade relativa cai em certos dias a valores ínfimos, principalmente às primeiras horas da tarde.

Não temos conhecimento de observações relativas ao acúmulo de cargas eletrostáticas em nosso meio, comparativamente ao que se verifica nos Estados Unidos. Um estudo dessa natureza se impõe, a fim de dirimir dúvidas e orientar com segurança a instituição de medidas preventivas. Até melhor esclarecimento da situação, pensamos que, sem desprezar a importância da umidade geralmente elevada de nossa atmosfera, seria arriscado confiar exclusivamente em sua ação protetora, dado o caráter frequentemente imprevisto, no tempo e no espaço, com que costumam desenvolver-se as cargas eletrostáticas.



A umidificação artificial do ar, quando indicada e desejada, poderá realizar-se mediante instalação dum sistema de condicionamento, com a vantagem então de atender a outros aspectos não só de conforto como de segurança.

Com ou sem umidificação artificial, deve ser obrigatória a instalação de higrômetros nas salas de operações e sistematicamente anotadas as leituras do aparelho, a se efetuarem antes de cada intervenção.

*Umidificação do aparelho de anestesia* — E' de tóda conveniência proceder-se à umidificação do interior do aparelho de anestesia, a fim de garantir a condutibilidade das paredes internas do sistema e dos gases anestésicos. Estes, nas condições em que se obtêm dos fornecedores, apresentam-se em estado de quase absoluta secura.

Vários recursos têm sido lembrados e empregados, isolada ou associadamente, visando êsse objetivo. Entre êles, a introdução de pequena porção de água, ou de esponja nela embebida, no interior do balão respiratório; o borbulhamento fino dos gases, inclusive o oxigênio e ar, em água preferivelmente aquecida; e a imersão das peças de borracha (máscara, tubos e balão), imediatamente antes de seu uso, em água ou solução de cloreto de cálcio a 2%. No caso de empregar-se o cloreto de cálcio, sabidamente irritante, cumpre evitar seu contato com a pele do paciente.

A prática da umidificação interna do aparelho é particularmente indicada nos métodos não fechados de administração anestésica. No método fechado, com reinalação, o vapor d'água e parte do gás carbônico exalados pelo paciente garantem, por si sós, a continuidade elétrica do conjunto. Aliás, é com base nesta e outras considerações que alguns autores<sup>29, 31, 35</sup>, divergindo da opinião corrente, consideram pouco provável a produção de faíscas eletrostáticas no interior do aparelho de anestesia. Mas, mesmo com os métodos fechados, como observa Guedel<sup>16</sup>, a umidificação interna prévia serviria para afastar o perigo de descargas durante aproximadamente os primeiros doze ciclos respiratórios, quando a atmosfera interior do aparelho ainda não teve tempo de se saturar de vapor d'água.

Em que pese a opinião de Williams<sup>9</sup> e Henderson<sup>1</sup>, de que os gases anestésicos, ávidos d'água, frustrariam qualquer tentativa de umidificação interna, a prática da umidificação, como foi descrita, deve ser recomendada e adotada, a exemplo do que fazem até os que, como Horton, julgam bastante a umidade que o paciente comunica ao aparelho.

Sirva de ilustração e advertência o caso altamente instrutivo de Figueiredo<sup>14</sup>. Em anestesia pelo ciclopropano, como o vaivém empregado começasse a aquecer-se demais, procedeu-se à sua lavagem com repetidos fluxos de oxigênio, a fim de refrigerá-lo. A certa altura ocorreu violenta explosão no interior do balão, despedaçando-o, sem entretanto se propagar ao paciente. A fonte de ignição presumível foi uma centelha eletrostática, ensejada pelo grau de secura em que ficou o aparelho após a passagem dos repetidos fluxos de oxigênio.

*Ligação terra* — E' natural que, na luta contra a acumulação de cargas eletrostáticas, se haja pensado, como meio de mais pronta e garantida eficácia, no estabelecimento de ligação terra dos aparelhos, pertences e pessoas presentes

nas salas de operações. A medida visava, o que se compreende, assegurar o rápido escoamento de qualquer carga porventura desenvolvida, mantendo objetos e pessoas em potencial terra permanente. Começou a ser aplicada a certas peças do aparelho de anestesia, estendendo-se logo depois aos vários elementos do grupo anestésico (aparelho, anestesista, paciente e mesa operatória), para atingir finalmente todos os objetos e pessoas da sala de operações.

Com efeito, parece que a primeira sugestão nesse sentido partiu de Brown<sup>36</sup> que, em 1924, aconselhou a ligação terra da máscara respiratória e cilindro de gás. Logo após Lewis e Boehm<sup>37</sup> recomendaram a ligação terra do aparelho de anestesia, anestesista, paciente e mesa operatória. Livingstone<sup>38</sup>, além de proceder à ligação terra da mesa operatória e aparelho de anestesia, cuidou de envolver o balão respiratório em tela metálica e enrolar fio espiralado em volta do tubo, com o intuito de reforçar-lhes a condutibilidade. Já Herb<sup>31, 39</sup>, após haver ensaiado o emprêgo duma chapa de aço ligada à terra que, à moda dum tapete, se estendia sob a mesa operatória e adjacências, acabou construindo um piso condutor, através do qual se estabelecia a ligação terra de todos os aparelhos, mesas, objetos e pessoas da sala de operações.

A propósito de piso condutor, esclareça-se que seu emprêgo está se generalizando nos Estados Unidos, e entre os tipos já propostos e ensaiados podem citar-se os seguintes<sup>23, 29, 30, 40, 41</sup>: 1) pisos recobertos de placas de material condutor, como borracha, linóleo e asfalto condutores; 2) pisos de cacos (tipo "terrazzo"), assentados com argamassa tornada condutora mediante incorporação de certas substâncias como negro de acetileno, oxiclureto de magnésio, etc.; 3) pisos de ladrilho poroso de pequena espessura, abaixo da qual se encontra uma tela metálica (cobre, latão) de malha fina; 4) pisos de ladrilho comum intercalado nos vãos de uma grade de lâminas verticais de cobre, de bordos rasantes à superfície, de acôrdo com a sugestão e realização de Herb, em 1925. A terceira e quarta variedades estão caindo em desuso, aquela por ficar a sua condutibilidade sob a dependência parcial da umidade ambiente, e esta por não apresentar condutibilidade continuamente uniforme. Pisos do último tipo podem ver-se em alguns hospitais do Estado de São Paulo e sua escolha, estamos informados, foi ditada pela impossibilidade de obter material uniformemente condutor, correspondente às duas primeiras variedades.

As ligações terra, aparentemente lógicas, começaram a ser combatidas, e com razão, a partir de 1930<sup>1, 27, 28</sup>. Verificou-se, com efeito, que tais ligações não só poderiam aumentar a energia duma centelha estática, recebida, por exemplo, de pessoa que entrasse no local durante o ato operatório, como e sobretudo agravar o risco, para o paciente, anestesista e cirurgião, de um eventual curto circuito na corrente dos aparelhos elétricos. E' verdade que êstes inconvenientes poderiam ser obviados se as ligações se fizessem através de resistência suficientemente elevada. Entretanto, a dissipação satisfatória da eletricidade estática pode ser conseguida de maneira mais simples mediante o emprêgo de material condutor no piso, objetos e traje das pessoas, como veremos a seguir. Eis porque, salvo na impossibilidade de conseguir materiais condutores, as ligações terra são hoje desaconselhadas.

*Interligação* — Horton<sup>8</sup>, partindo do conceito de que, "com as técnicas correntes de anestesia gasosa, é improvável a existência de misturas inflamáveis



além de cerca de trinta centímetros de distância de qualquer ponto de escape”, convenceu-se de que conseguiria considerável redução dos riscos da eletricidade estática se impedisse a projeção de centelhas entre os corpos que circundam tais pontos de fuga. Os corpos, nessa zona de maior perigo, são principalmente representados pelo aparelho de anestesia, anestesista, paciente e mesa operatória. Procurou então Horton estabelecer a interligação permanente desses quatro elementos, visando nivelar-lhes a carga eletrostática.

Com esse objetivo construiu o seu conhecido “intercoupler”. Consta o dispositivo de um estôjo metálico que abriga uma rede de resistências arranjadas de modo a apresentar quatro terminais. A resistência entre dois quaisquer desses é constante e igual a um megohm. O estôjo em si é um dos terminais, e dos três outros partem fios para as necessárias ligações. O estôjo é pôsto em conexão com o aparelho de anestesia (ou a mesa operatória), e os demais terminais com o anestesista, o paciente e a mesa operatória (ou o aparelho de anestesia). O cirurgião e seu assistente, pelo contato que mantêm com os tecidos úmidos do paciente, passam automaticamente a fazer parte do conjunto interligado.

Com a elevada resistência dos condutores, Horton procurou afastar duas possíveis objeções ao seu “intercoupler”: maior risco de choque elétrico, no caso de contato acidental com o circuito elétrico da instalação, e centelha mais intensa entre qualquer corpo carregado e o grupo conexionado, pela maior capacidade eletrostática do último. O autor sugere, ademais, que o grupo interligado mantenha contato com o piso, se fôr este condutor, mediante uma corrente pendente ou por intermédio dum quinto terminal de que alguns “intercouplers” são providos. Assim, tôdas as pessoas munidas de calçado condutor, que se encontrarem na sala de operações, e todos os objetos que estiverem em contato elétrico com o piso se integrarão automaticamente no grupo interligado. Considera ainda Horton vantajosa a prática complementar de ligação do piso condutor a terra, desde que, para evitar o perigo de choques elétricos, ela se efetue através de resistência suficientemente elevada.

A norma norte-americana de segurança em vigor<sup>18</sup> proscreeu o emprêgo de dispositivos de interligação, como o “intercoupler” de Horton. O que nela se exige, em elegante simplificação técnica, é apenas um piso condutor, sem ligação terra, que seria como que o veículo universal de interligação de todos os objetos e pessoas da sala de operações. E a condutibilidade do piso, segundo a norma, deve ser tal que, medida entre dois pontos quaisquer, distantes 90 centímetros um do outro, não seja menor do que 25.000 nem maior do que 1.000.000 ohms. Com tais limites se assegura suficiente condutibilidade, sem o risco eventual de choque elétrico intenso. Percebe-se desde logo que, com as especificações relativas à condutibilidade, a norma condenou o emprêgo de pisos providos de grades metálicas; o que poderá constituir sério embaraço onde fôr difícil, como entre nós, obter material de revestimento uniformemente condutor.

O “intercoupler” de Horton teve, em seu tempo, boa aceitação nos Estados Unidos e exemplares dele se vêem em alguns de nossos hospitais. A despeito de repudiado pela norma norte-americana, ainda parece contar com simpatizantes dentro dos próprios Estados Unidos<sup>19</sup>.



*Material condutor de eletricidade* — A instalação de pisos condutores nas salas de operações, como se recomenda, e as próprias ligações terra falhariam em sua finalidade, podendo até tornar-se contraproducentes, se os aparelhos, mesas e suportes não fossem construídos e equipados, em toda a sua extensão, de material condutor. Seria igualmente inadmissível que, numa sala de piso condutor, todo o pessoal da equipe cirúrgica não estivesse em continuidade elétrica com o chão, isto é, que não usasse calçado condutor ou empregasse recurso equivalente. Como judiciosamente adverte a norma norte-americana, qualquer interrupção nessa cadeia de precauções tende a aumentar o perigo de uma descarga eletrostática.

Os aparelhos, mesas, bancos, suportes e demais peças, fixas ou móveis, devem ser construídas de metal e seu contato com o piso, quando não direto, deve efetuar-se através de material condutor, como a borracha condutora (ponteiras, aros de rodas, etc.). Como alternativa, ou precaução complementar, a continuidade elétrica com o piso pode realizar-se através de correntes pendentes, construídas de metal não ferroso, bom condutor, como o bronze, e à prova de faísca mecânica. A corrente deve manter contato razoavelmente extenso com o piso (15 cm circa), sendo aconselhável prendê-la pelas extremidades, sob a peça correspondente, em pontos diagonalmente opostos, de modo que alguns dos elos centrais descansem sobre o chão. As correntes de tipo comum, de elos simplesmente entrelaçados, são de preferir-se às de juntas ocultas, para maior facilidade de inspeção e limpeza. As correntes, com efeito, devem ser periodicamente escovadas e lavadas, a fim de remover sujeira ou óxidos que nelas se depositem, comprometendo sua condutibilidade.

O fórrô da mesa operatória bem como a capa do coxim e almofada de cabeça devem ser de material condutor, que assegure a continuidade elétrica da série paciente-mesa-piso. A superfície do tamborete, sobre que se assenta o anestesista, deve ser de metal exposto, sem pintura, e, quando almofadada, a capa da almofada deve ser de material condutor. A borracha das várias peças do aparelho de anestesia, balão, tubos e máscara — aqui mais do que alhures, é óbvio — deve ser condutora.

Vê-se desde logo que, adotadas estas precauções, um dos elementos mais importantes do conjunto — o anestesista — manterá tríplice conexão com o piso, numa verdadeira interligação, a lembrar o “intercoupler” de Horton: através de calçado condutor, do tamborete e do par aparelho-paciente. A propósito, aconselha-se que o anestesista, além de evitar movimentos desnecessários e frequentes ajustamentos da máscara, procure manter contato com o paciente e o aparelho<sup>13, 30, 42</sup>.

O emprêgo de materiais maus condutores, como borracha comum e certos plásticos, deve ser rigorosamente proibido nas salas de operações. O mesmo se diga dos tecidos de lã, seda e fibras sintéticas (rayon, nylon, etc.), no que concerne às peças externas de vestuário, inclusive meias, da equipe cirúrgica, paciente e mesmo visitantes<sup>18, 30</sup>.

A proibição de artigos de lã estende-se aos cobertores de agasalho do paciente; o que, reconhecemos, cria certo problema em manhãs frias de inverno, onde não haja aquecimento artificial. Nos Estados Unidos é uniforme a opi-

nião de que os cobertores de lã devem ser banidos das salas de operações. Em curiosa exceção, única ao que saibamos, Williams<sup>9</sup> admite seu emprêgo, desde que não se conservem aquecidos em estufas, afirmando que, mantidos à temperatura ambiente, "os cobertores de lã retêm quantidade de água surpreendentemente elevada, embora imperceptível ao tato, e essa umidade natural reduz grandemente o perigo de faísca estática".

O calçado de todo o pessoal da sala de cirurgia e, a rigor, o de visitantes deve ser condutor. Os sapatos de sola de borracha comum, além de impedirem a continuidade elétrica com o piso, são poderosos geradores de cargas eletrostáticas, devendo pois ser proibidos. A borracha condutora, na confecção da sola e salto do calçado, é ainda aqui o material corrente de escolha. A norma norte-americana<sup>18</sup> é rigorosa a respeito de calçado condutor, estabelecendo que a resistência elétrica da sola, medida em condições especificadas, não deve exceder de 250.000 ohms; requer, mais, que a condutibilidade do calçado seja verificada, com emprêgo de ohmômetro ou aparelho equivalente, toda vez que fôr ele usado.

Discutindo a questão do calçado condutor, Greene, em recentíssimo trabalho<sup>43</sup>, refere que, ao que lhe conste, apenas um hospital norte-americano, o de Hartford (Connecticut), observa esta última exigência. Aliás, a medida de resistência da sola do sapato pode fazer-se rápida e facilmente com o emprêgo dum dispositivo simples, como o que sugeriu Horton<sup>29</sup>, bastando que o portador do calçado, ao entrar na sala de operações pise sobre um par de placas de borracha condutora ligadas a um ohmômetro.

Segundo Greene, o calçado comum de sola de couro possui condutibilidade suficiente para torná-lo admissível em salas de operações. O couro da sola, com efeito, desde que não haja interposição de material isolante, absorve a umidade não só dos pés como do piso. Horton<sup>29</sup> entretanto mostra-se hesitante em recomendar a sola de couro, referindo que, devido às variações de umidade ambiente e corporal, sua resistência pode variar de 10.000 ohms a 10 megohms. Na opinião deste autor a sola de borracha condutora deve ser preferida.

Como alternativa ao uso de calçado condutor deve ser lembrado o recurso, menos prático, de pequenas correntes pendentes destinadas a estabelecer a continuidade elétrica entre os pés e o piso.

Onde o piso da sala fôr de ladrilho ou material equivalente, desaconselha-se o uso de calçado com pregos e chapas metálicas na sola, a fim de afastar a possibilidade de faísca mecânica, por choque desses metais contra o chão<sup>18, 29, 44, 45</sup>.

Um expediente destinado a suprir a insuficiência de condutibilidade dos materiais de equipamento e do piso, na zona de maior perigo, consiste, como recorda Thomas<sup>46</sup>, no emprêgo de três toalhas, uma apenas umedecida e as outras bem molhadas em água. Uma das extremidades da primeira, convenientemente dobrada, é colocada sob a pele nua da espádua do paciente e a extremidade oposta se insere entre o tampo e o coxim da mesa operatória. As duas outras destinam-se a assegurar ampla continuidade elétrica entre a mesa operatória e o aparelho de anestesia, dum lado, e o piso doutro lado, estendendo-se cada uma delas sobre a base da peça correspondente e o piso. Os pés do anes-



tesista e de seu tamborete deverão tocar numa destas duas últimas toalhas ou em ambas.

Outro expediente, relativo à melhora de condutibilidade do piso, consiste em lavagens frequentes de sua superfície com solução de cloreto de cálcio a 2-4%. O sal remanescente funcionaria simultaneamente como agente higroscópico e eletrolítico. Os efeitos, entretanto, são incertos<sup>29, 44, 45</sup>.

*Ionização do ar* — Já se fizeram alguns ensaios de ionização do ar visando o aumento de sua condutibilidade elétrica<sup>47, 48</sup>. Dos vários métodos tentados, mostrou-se mais promissor, o que fazia uso de emanações radioativas, pôsto que não inteiramente satisfatório. Horton<sup>47</sup> faz notar que, para surtir efeito, seria necessário um grau de ionização artificial alguns milhares de vezes maior do que o observado naturalmente no verão, não se devendo, por conseguinte, atribuir à maior ionização natural do ar o número reduzido de explosões por eletricidade estática nessa época do ano; e adverte quanto ao perigo do ozônio que se pode formar concorrentemente à ionização do ar, por serem espontaneamente combustíveis as misturas desse gás com o etileno e o ciclopropano.

#### d) VENTILAÇÃO

A ventilação ativa da sala de operações, e consequente diluição acelerada dos gases evadidos do conjunto aparelho-paciente, era um dos recursos recomendados, até época relativamente recente, na luta contra as inflamações e explosões de agentes anestésicos. Para êsse efeito, se aconselhavam de 8 a 12 trocas por hora, do ar de toda a sala<sup>10, 49</sup>.

O crescente emprêgo dos métodos fechados de administração anestésica e a verificação, já referida, de que raramente se encontram misturas inflamáveis além de sessenta centímetros de qualquer ponto de escape, reduziu a importância do papel preventivo da ventilação.

Continua a recomendar-se, sem dúvida, a ventilação geral das salas de operações, de preferência a artificial e mediante instalação de ar condicionado, nas proporções acima mencionadas; mas o objetivo é menos a segurança contra fogo e explosão do que o conforto térmico do paciente e cirurgiões, a remoção de odores e a pureza bacteriológica do ar.

Lembre-se apenas que, na ventilação artificial, a abertura de saída do ar, preferivelmente única, deve situar-se numa das paredes da sala, a curta distância do piso; e a abertura ou aberturas de entrada se localizarão no teto ou na mesma parede em que se encontra a abertura de saída, nas vizinhanças do teto. Voltando então a cabeceira da mesa operatória para a parede em que está o orifício de saída, obtém-se a remoção dos gases anestésicos pelo caminho mais curto e na melhor direção de fluxo, isto é, dos pés para a cabeça do paciente, o que implica em maior segurança na manipulação de certos aparelhos (cautério, bisturi elétrico, etc.) no campo operatório.

Onde não haja ventilação artificial, ou como precaução adicional, indica-se o emprêgo de corrente artificial local<sup>27, 35</sup>, fornecida por ventilador à prova de explosão, quando, no decorrer da intervenção, se impuser a necessidade de maior segurança no campo operatório. A corrente local deverá ser orientada com o mesmo critério referido a propósito da ventilação artificial geral.



## e) MISTURAS ININFLAMÁVEIS

Na luta contra o perigo da explosão de gases anestésicos, principalmente no interior dos aparelhos de anestesia, várias tentativas têm sido feitas visando criar misturas que, satisfatórias do ponto de vista anestésico e fisiológico, sejam ininflamáveis. A iniciativa neste sentido parece ter partido da colaboração do grupo da Repartição de Minas, dos Estados Unidos, chefiado por Jones, e do pessoal do Departamento de Anestesiologia da Universidade de Pittsburgh, sob a direção de Thomas, e seu objetivo consistiu em selecionar um gás inerte que, acrescentado à mistura anestésica, lhe impedisse a inflamação. Experimentando três gases inertes, o gás carbônico, o nitrogênio e o hélio, sob o triplice aspecto de suas propriedades extintoras de chama, resistência à ignição por faísca eletrostática e tolerância fisiológica, concluíram que o último, o hélio, deveria ser o agente inerte de eleição<sup>7</sup>. E, logo após, descreveram misturas ininflamáveis de variada concentração e poder anestésico, de ciclopropano-oxigênio-hélio<sup>50</sup> e de éter dietílico-ciclopropano-oxigênio-hélio<sup>51</sup>. Doutro lado fundamentaram a impossibilidade prática de obter misturas ininflamáveis de éter dietílico-protóxido de nitrogênio-oxigênio mediante adição de hélio<sup>4</sup>.

Por sua vez, e quase contemporaneamente, o grupo orientado por Horton, professor de Engenharia Biológica do Instituto de Tecnologia de Massachusetts, e ligado à Clínica Lahey, de Boston, demonstrou a possibilidade do emprêgo de misturas inexploráveis de ciclopropano, etileno e oxigênio<sup>6, 22, 29</sup>. Partiram da observação de que a adição de um segundo gás inflamável à mistura de outro com oxigênio resulta em mistura final anestésicamente mais potente e ininflamável, isto é, o gás inflamável acrescentado atua como se fôra neutro, tanto quanto o nitrogênio ou o hélio. Assim, se o ciclopropano e o etileno, quando individualmente misturados com oxigênio, são altamente explosivos nas concentrações respetivas de 25 e 40%, as misturas, por exemplo, de ciclopropano 20%-etileno 50%-oxigênio 30%, para anestesia profunda, e de ciclopropano 10%-etileno 65%-oxigênio 25%, para anestesia leve, são ininflamáveis. A ininflamabilidade das várias misturas ainda poderia ser acrescida mediante adição de um quarto gás, como o nitrogênio, o hélio ou mesmo o hidrogênio.

Cite-se também o trabalho do Departamento de Química da Universidade de Purdue, dirigido por Haas<sup>52</sup>, relativo a misturas inexploráveis de ciclopropano-oxigênio-ar. Aqui, a ação impediante da inflamação se deve ao nitrogênio do ar.

A despeito do grande interêsse suscitado por estas contribuições e do elevado alcance preventivo que as caracteriza, o emprêgo de misturas anestésicas não inflamáveis não parece ter logrado a generalização que era de esperar-se. Talvez pelos senões que ainda apresenta e que foram reconhecidos por seus proponentes ou apontados pelos críticos<sup>35, 44</sup>. Tais seriam 1) a dificuldade de avaliar, a qualquer momento, a proporção exata de cada um dos componentes da mistura dentro do aparelho de anestesia, 2) o deslocamento da mistura para a zona de inflamabilidade, em virtude de possível absorção seletiva dum dos componentes, 3) a perda de flexibilidade no ajustamento quantitativo e qualitativo das misturas anestésicas segundo as necessidades variáveis do paciente, 4) certo grau de cianose decorrente do teor obrigatoriamente baixo de oxigênio, 5) a formação de misturas explosivas com o ar ambiente, no caso

de escape, e 6) a necessidade de readaptação da técnica ou aparelhagem de administração.

Tratando-se de um método preventivo de caráter radical, é de desejar-se entretanto que não esmoreça o empenho na utilização de misturas inexploráveis e que as falhas e inconveniências apontadas possam ser obviadas, pelo menos parcialmente. O assunto continua aberto à argúcia e espírito de iniciativa dos interessados. Recorde-se, a propósito, a sugestão de Tovell<sup>44</sup> de associar o pentotal sódico por via endovenosa, ou o bloqueio regional, ao emprêgo das misturas ininflamáveis, a fim de obter o relaxamento maior que estas não facultam, quando usadas isoladamente, senão a preço de cianose apreciável. Lembre-se também a possibilidade da incorporação aos aparelhos de anestesia de um dispositivo do tipo descrito por Uhl e colaboradores<sup>53</sup>, destinado a verificar fácil e rapidamente se a mistura gasosa é ou não inflamável.

#### f) DETENTORES DE CHAMA

É de desejar-se que os aparelhos de anestesia sejam providos de detentores de chama que, convenientemente situados e sem interferir com a respiração, impeçam a propagação da onda de chama e pressão, no caso de uma explosão. No caso relatado por Figueiredo<sup>14</sup>, a explosão não se propagou ao paciente graças a uma tela metálica existente no interior do vaivém, que desempenhou papel semelhante ao da tela duma lâmpada de Davy.

### LOCAIS DE ANESTESIA. DEPÓSITOS DE ANESTÉSICOS

Em toda a exposição precedente se considerou sempre o caso típico da sala de operações. Compreende-se entretanto que o critério de segurança e correspondente aplicação de medidas preventivas devam estender-se a quaisquer outros locais do hospital, como salas de anestesia, salas de partos, etc., onde, para efeito de exame ou tratamento, se administrem agentes anestésicos inflamáveis e, em parte, aos corredores que lhes dão acesso.

Acrescente-se mais que as salas que servem de depósito de agentes inflamáveis devem merecer também cuidados especiais. Recomenda-se<sup>18</sup> que tenham instalação elétrica à prova de explosão e ventilação natural convecional; que não tenham comunicação direta com os locais de anestesia e sejam separadas das que servem de depósito de agentes não inflamáveis (oxigênio e protóxido); e que sejam providas de piso condutor, quando situadas no centro cirúrgico ou obstétrico.

### MANUTENÇÃO. ESPÍRITO DE SEGURANÇA

De pouco valerão os esforços e gastos dispendidos com instalações, aparelhos e materiais de segurança, podendo até tornar-se contraproducentes pela noção falsa de segurança que geram, se não houver no hospital um serviço permanente de manutenção especializada. Cabe à administração do hospital designar alguém que, por seus conhecimentos técnicos e noção de responsabilidade, tenha o encargo precípua de zelar pela conservação, reparação e substituição de peças e equipamentos que importam na segurança contra inflamações e ex-



26. Griffith, H. R.: "Operating room explosions". *Current Researches in Anesth. & Analg.* **10**: n   6 (nov-dez), 281-5, 1931.
27. Phillips, V. B.: "Safeguarding the operating room against explosions". *Mod. Hosp.* **46**: n   4 (abr), 81-8, 1936.
28. Rovenstine, E. A.: "Avoid explosions of anesthetics". *Mod. Hosp.* **53**: n   2 (ago), 72, 1939.
29. Horton, J. W.: "Present status of the problem of preventing anesthetic explosions". *Anesthesiology* **2**: n   2 (mar), 121-37, 1941.
30. Phelps, R. A.: "Safeguarding the operating suite". *Mod. Hosp.* **I**, **77**: n   5 (nov), 122-8, 1951; **II**, **77**: n   6 (dez), 126-34, 1951; **III**, **78**: n   1 (jan), 128-34, 1952; **IV**, **78**: n   2 (fev), 120-4, 1952.
31. Herb, I. C.: "The present status of ethylene". *Jour. Amer. Med. Ass.* **101**: n   22 (nov 25), 1716-20, 1933.
32. Yaglou, C. P.: "Hospital air conditioning". *Jour. Ind. Hyg. & Toxicol.* **18**: n   10 (dez), 741-66, 1936.
33. Maroger, M.: "Les explosions de m  langes anesth  siques". *Anesth.-Analg.* **7**: n   3 (jun), 325-30, 1950.
34. Hevia, L.: "Anesthesia in surgery under tropical climatic conditions". *Current Researches in Anesth. & Analg.* **10**: n   4 (jul-ago), 145-52, 1931.
35. LeeRoy, A., & Sword, B. C.: "Fires, explosions and anesthetics". *Current Researches in Anesth. & Analg.* **21**: n   4 (jul-ago), 181-8, 1942.
36. Brown, W. E.: "Explosibility of ethylene mixtures". *Jour. Amer. Med. Ass.* **82**: n   13 (mar 29), 1039-40, 1924.
37. Lewis, W. B., & Boehm, E. F.: "A simple method of eliminating danger of explosion due to static spark in gas-oxygen apparatus". *Jour. Amer. Med. Ass.* **84**: n   19 (mai 9), 1417, 1925.
38. Livingstone, H.: "An attempt to lessen anesthetic hazards". *Current Researches in Anesth. & Analg.* **9**: n   6 (nov-dez), 269-73, 1930.
39. Herb, I. C.: "Explosions of anesthetic gases". *Jour. Amer. Med. Ass.* **85**: n   23 (dez 5), 1788-90, 1925.
40. Stone, C. G.: "Conductivity tests on samples of terrazzo floors". *Hospitals* **15**: n   6 (jun), 88-9, 1941.
41. "Low-cost conductive flooring for hospitals". Federal Security Agency, Public Health Service, Division of Hospital Facilities, Technical Services Branch, Washington, D.C., julho, 1949.
42. McKesson, E. I.: "How can we eliminate static from operating rooms to avoid accidents with anesthetics?" *Brit. Jour. Anesth.* **3**: (abr), 178, 1926. Cit. em 1.
43. Greene, B. A.: "The place of leather-soled shoes in the prevention of anesthetic explosions". *Anesthesiology* **13**: n   2 (mar), 203-6, 1952.
44. Tovell, R. M.: "Anesthetics. Physical hazards; explosibility and inflammability; remedial measures". *Bull. Amer. Coll. Surg.* **26**: n   1 (jan), 26-9, 1941.
45. Waugh, R. L., & Bond, L.: "Operating room explosions". *Amer. Jour. Surg.* **69**: n   1 (jul-set), 89-93, 1945.
46. Thomas, G. J.: "Fire and explosion hazards in anesthetizing areas". *Indust. Med. & Surg.* **20**: n   11 (nov), 509-12, 1951.
47. Luckhardt, A. B.; Horton, J. W.: Discuss  o do trabalho referido em 8.
48. Slocum, H. C., & Finvold, R.: "Ionization of the air: a method for the dispersion of charges of static electricity". *Anesthesiology* **5**: n   1 (jan), 33-9, 1944.
49. "Heating, Ventilating, Air Conditioning Guide". American Society of Heating and Ventilating Engineers, 28   ed., 1950, Cap. 7.
50. Jones, G. W., & Thomas, G. J.: "The prevention of cyclopropane-oxygen explosions by dilution with helium". *Anesthesiology* **2**: n   2 (mar), 138-43, 1941.
51. Thomas, G. J., & Jones, G. W.: "Clinical and laboratory data on ether-cyclopropane-oxygen-helium mixtures". *Current Researches in Anesth. & Analg.* **21**: n   3 (mai-jun), 121-36, 1942.
52. Haas, H. B., Hibshman, H. J., & Romberger, F. T.: "Cyclopropane-air-oxygen anesthesia". *Anesthesiology* **1**: n   1 (jul), 31-9, 1940.
53. Uhl, J. W., Livingstone, H. M., & Ting, K. S.: "Detection of explosive mixtures or static in operating rooms". *Anesthesiology* **10**: n   4 (jul), 479, 1949.