

## OXIGENAÇÃO HIPERBÁRICA

DR. HERIBERTO A. FERRARI (\*)

AP 2331

São revistas a terminologia, teoria e possibilidades terapêuticas da oxigenação hiperbárica. A oxigenação hiperbárica é antifisiológica e a síndrome de toxicidade do oxigênio apresenta manifestações gerais, como a acidose respiratória ao nível dos tecidos, bem como manifestações na dinâmica respiratória e na estrutura pulmonar. Convulsões coma e morte podem ser causados pela hiperoxigenação. Há também uma série de acidentes devidos ao manuseio inadequado da câmara hiperbárica, devidas as mudanças muito rápidas da pressão.

As possibilidades terapêuticas da oxigenação hiperbárica excitaram a imaginação de muitos médicos nos últimos anos, mas esta forma terapêutica não é nova, e a história médica registra numerosos antecedentes nos últimos séculos.

A primeira tentativa de empregar uma câmara hiperbárica, foi feita pelo inglês Henshaw em 1662. Uma sala de operações hiperbárica móvel foi construída por Fontaine em 1879; Fontaine faleceu em consequência de um provável acidente de descompressão, sendo considerado o primeiro mártir da terapêutica hiperbárica. A câmara construída por Forlainini em 1875 é um exemplo do luxo de alguns centros médicos do século XVII. Em 1928, Orval Cunninham construiu a maior câmara jamais feita, com 5 cinco andares de altura. Cada andar tinha 12 quartos com as facilidades de um bom hotel.

Em 1964 a Duke University começou a construção do que é hoje em dia o complexo hipo-hiperbárico mais completo que existe na atualidade.

### TERMINOLOGIA E TEORIA

No espaço existe um vácuo e a pressão aí é considerada *zero atmosfera absoluta* (ATA). Ao nível do mar, o peso do ar sobre a superfície da terra é de 14.7 libras por polegada

(\*) Professor Clínico Associado de Anestesiologia do Colégio de Medicina e Odontologia de New Jersey, EEUU.

quadrada (760 mmHg); isto é, uma *atmosfera absoluta* (1 ATA). Em 1 ATA os manômetros não registram pressão. A 10 metros de profundidade os manômetros registram uma atmosfera que equivale a 2 ATA.

A 1 ATA, quer dizer, ao nível do mar, à pressão atmosférica de 760 mmHg, a pressão parcial de oxigênio é de 159 mmHg, de acôrdo com a Lei de Dalton. Ao nível alveolar a tensão parcial de oxigênio desceu a uns 100 mmHg e no sangue arterial — de acôrdo com a idade e a postura — varia entre 80 e 100 mmHg.

A curva peculiar de dissociação da oxihemoglobina permite saturação quase completa da hemoglobina nas capilares pulmonares em tensões de oxigênio acima de 75 mmHg. Quinze grammas de hemoglobina podem transportar quimicamente 20.1 ml de oxigênio; em contraste 100 ml de sangue pode levar em solução física somente 0.31 ml de oxigênio.

A tensão alveolar do oxigênio aumenta umas 5 vezes quando se respira oxigênio puro; não obstante o aumento em tensão de oxigênio arterial pode gerar somente menos de 2% adicional em conteúdo de oxigênio. Este pequeno aumento não é capaz de produzir benefícios clínicos numa variedade de doenças isquêmicas.

A solubilidade do oxigênio no sangue aumenta em relação linear com o aumento da tensão de oxigênio. A uma pressão de oxigênio de 2.000 mmHg, obtida em condições hiperbáricas, o volume de oxigênio dissolvido no sangue arterial é de uns 6.2 volumes por cento.

Duas vantagens teóricas resultam da oxigenação hiperbárica a nível tissular:

1 — Aumenta o número absoluto de moléculas de oxigênio oferecidas em cada unidade de sangue.

2 — A alta tensão de oxigênio no capilar arterial é capaz de proteger contra a hipóxia uma maior quantidade de tecido.

Naturalmente que se o fluxo sanguíneo esta restringido ou ausente a oxigenação hiperbárica não produzirá os efeitos esperados.

Para completar estes comentários teóricos relativos a oxigenação hiperbárica é necessário fazer referências a alteração de transporte do gás carbônico. Em condições normais, quase todo o oxigênio que passa aos tecidos deriva da oxihemoglobina. Mas em condições de pressão atmosférica aumentada o oxigênio fisicamente dissolvido é o que passa aos tecidos e a oxihemoglobina atravessa os capilares sem sofrer modificações. A hemoglobina completamente oxigenada é menos

efetiva que a hemoglobina reduzida para transportar gás carbônico. Em consequência, o gás carbônico tissular aumenta e o pH diminui.

#### RESPOSTAS BIOLÓGICAS A OXIGENAÇÃO HIPERBARICA

A densidade de um gás varia em proporção direta com a sua pressão. Em consequência um aumento da pressão atmosférica de uma a duas atmosféricas, absoluta, duplicará a densidade do gás com incremento do fluxo turbulento nos pulmões. Como é de esperar o trabalho para respirar aumenta. A capacidade vital e a complacência pulmonar não se alteram de maneira significativa mas a ventilação voluntária máxima decresce rapidamente.

Observações recentes indicam que o trabalho pulmonar aumenta consideravelmente quando se acrescenta ao aumento da densidade do gás uma restrição ao tamanho da via aérea (tubo de traqueostomia, por exemplo).

A respiração de oxigênio puro a uma, duas, três atmosferas absolutas produz aumento da ventilação pulmonar, aparentemente como consequência do aumento do gás carbônico tissular.

O aumento da tensão de oxigênio em sangue arterial resulta em diminuição do débito cardíaco, diminuição da frequência cardíaca e aumento da resistência periférica, tanto em pressões atmosféricas normais como aumentadas.

O fluxo sanguíneo regional de vários órgãos foi medido em animais de experimentação empregando um medidor eletromagnético de fluxo e mostrou reduções significativas em todos os órgãos estudados (cérebro, coração, rim, etc.). A vasoconstrição que acompanha o aumento do oxigênio no sangue pode ser observados diretamente nos vasos da retina.

#### TOXIDADE DO OXIGENIO

A exposições a altas tensões de oxigênio por períodos prolongados produz a morte do animal de experimentação. O homem compartilha este perigo apresentando uma variedade de sinais, sintomas e alterações patológicas que indicam transtornos profundos do sistema nervoso central, pulmões e circulações. As manifestações características incluem náuseas, palidez, nervosismo, vertigem, sensação de sufocação, contração espasmódica dos lábios, pálpebras, músculos da mão e convulsão generalizada ou síncope. A interrupção da admi-

nistração de oxigênio produz alívio imediato; do contrário, ocorre coma e morte.

As convulsões ocorrem após um "Período de Latência" cuja duração é inversamente proporcional à pressão de oxigênio inspirado. As convulsões não produzem dano, mas representam uma manifestação imediata de atividade elétrica cortical incoordenada. Se forem ignoradas ou mascaradas as convulsões e a administração de oxigênio continuar, produzem-se danos irreparáveis, que parecem ter como denominador comum uma interferência com as reações oxidativas celulares. A anestesia geral, alguns barbitúricos, os relaxantes musculares podem inibir muitas das manifestações relacionadas com fenômenos tóxicos, mas o eletroencefalograma revela as alterações características de uma convulsão, ainda que na ausência de toda atividade muscular.

#### DOENÇA DE DESCOMPRESSÃO

A doença de descompressão é um risco que corre todo o pessoal que trabalha nas câmaras hiperbáricas. Quando a pressão atmosférica aumenta na câmara hiperbárica, os gases procuram um novo equilíbrio nos tecidos. Do mesmo modo, durante a descompressão os gases devem abandonar os tecidos para manter o equilíbrio necessário. O oxigênio não apresenta um problema clínico pois este gás é rapidamente consumido pelas células.

#### QUADRO I

#### ALTERAÇÕES PROVOCADAS POR DESCOMPRESSÃO

##### A — SINAIS E SINTOMAS LEVES

- 1 — Prurido
- 2 — Fadiga
- 3 — Transtornos visuais
- 4 — Contraturas

##### B — MANIFESTAÇÕES SÉRIAS

- 1 — Perda da Consciência
- 2 — Convulsões
- 3 — Paralisias
- 4 — Tonteiras
- 5 — Perda da Audição
- 6 — Dificuldades ou impossibilidade de falar

##### C — SEQUELAS

- 1 — Necrose aséptica de osso
- 2 — Déficit neurológico permanente

Mas a eliminação dos gases inertes como o nitrogênio pode formar bôlhas quando os pulmões não consegue eliminar a quantidade efetiva de gás liberada pelos tecidos durante uma descompressão rápida. Estas bôlhas atuam como êmbolos intravasculares e ocasionam as manifestações difusas da chamada doença de descompressão ou disbarismo.

No quadro 1 estão numerados uma série de transtornos que podem aparecer durante a descompressão.

Qualquer manifestação de disbarismo deve ser considerada importante e tratada desta maneira.

#### TERAPÊUTICA COM OXIGÊNIO HIPERBARICO

Atualmente o oxigênio hiperbárico é um componente importante da terapêutica ideal em quatro categorias de transtornos:

- 1 — Doença de descompressão e embolismo aéreo.
- 2 — Intoxicação por monóxido de carbono;
- 3 — Tratamento de alguns tumores malignos, com radioterapia simultânea;
- 4 — Gangrena gasosa.

Nestas desordens as previsões teóricas se viram confirmadas por observações experimentais e grandes séries clínicas.

Em outro grupo muito grande de afecções a combinação de oxigênio hiperbárico parece ser um agregado terapêutico útil.

*Recém-nascidos cianóticos* com graves anomalias cardíacas suportaram a cirurgia paliativa e sobreviveram.

*Enxertos de peles cianóticos*, conservaram-se viáveis.

*Lesões osteomielíticas*, refratárias ao tratamento foram curadas.

Os sinais e sintomas de *isquemia periférica* melhoraram durante a oxigenação hiperbárica.

Alguns casos de melhoria espetacular em afecções coronárias e cerebrovasculares agudas foram relatados, mas numa série bem controlada não foi possível apreciar-se diferenças significativas.

#### FUTURO DA OXIGENAÇÃO HIPERBARICA

Como foi mencionado anteriormente o emprêgo de ar ou oxigênio a pressões atmosféricas maiores e normal no tratamento de algumas enfermidades não é uma idéia nova. No

entanto, nosso conhecimento atual de patologia, a disponibilidade de novas formas de tratamento, a maior informação biomédica relativa a hiperoxigenação e a tecnologia da época atual provém uma base sólida para estudar aplicações presentes ou futuras.

Ainda que muitas afecções do aparelho respiratório não melhorem simplesmente aumentando a tensão de oxigênio, a algumas como a síndrome de membrana hialina, na qual hiperoxigenação pode ser de grande valor, se ao mesmo tempo a terapêutica facilita a eliminação de gás carbônico e protege os pulmões dos efeitos tóxicos do oxigênio. A combinação de locais extrapulmonares de respiração (como os sistemas de respiração líquida das membranas serosas) com pressões atmosféricas aumentadas podem converter em realidade este objetivo terapêutico.

Teoricamente, o aumento de conteúdo de oxigênio no sangue deveria ser útil na prevenção do dano tissular ocasionado pela isquemia.

A experiência acumulada em casos de intoxicação por monóxido de carbono indica que a hiperoxigenação pode salvar a vida em outros casos de intoxicação (cianureto, por exemplo).

O recente interesse da oxigenação hiperbárica serviu da necessidade do cirurgião em aliviar a hipóxia e estender o tempo de interrupção da circulação. É provável que o emprego conjunto de hipotermia, oxigenação hiperbárica e circulação extracorpórea, permita ao cirurgião encarar problemas que não tem solução satisfatória com as técnicas atuais.

É de esperar que a oxigenação hiperbárica se empregue de maneira mais freqüente para conservar a viabilidade de membros parcialmente separados do corpo dando assim a traumatologia de urgência, a oportunidade de reparar e conservar, em lugar de amputar.

Quando os transplantes de órgãos forem mais comum, a oxigenação hiperbárica e a hipotermia permitirão a boa conservação dos tecidos.

Também é de esperar um maior emprego da combinação quimioterapia-irradiação-oxigenação hiperbárica no tratamento dos tumores malignos.

A medida que progride a exploração das profundezas do mar e o espaço que nos rodeia mais necessário se faz estudar em condições bem controladas as modificações fisiológicas do homem. As instalações complicadas que podem simular altitudes de 45.000 metros e profundidades de 300 metros permite realizar contribuições de grande valor nestas áreas bio-

lógicas não médicas. Vista desta maneira, a investigação num composto hipobárico — hiperbárico pode aumentar os conhecimentos necessários no qual o homem pode trabalhar e talvez viver, fora dos limites impostos pela terra firme em que nasceu.

### SUMMARY

#### HIPERBARIC OXYGENATION

Terminology, theory and therapeutic possibilities of hyperbaric oxygenation are reviewed. Hyperbaric oxygenation is not a physiologic condition and oxygen toxicity may develop, with systemic as well as local manifestations. Respiratory acidosis at tissue level, especially the brain, may produce convulsions coma, and death. Hyperbaric oxygen will also alter respiratory dynamics and pulmonary structure. Decompression accidents are harmful to patients and personnel.