

## Fundamentos e indicaciones de la oxigenoterapia hiperbárica.

J.A. Viqueira Caamaño y A. Pujante Escudero

El artículo completo puede ser consultado en *Medicina Integral*, 17 (9): 64-80 (1991), titulado *La cámara hiperbárica*.

### Resumen

Las cámaras hiperbáricas son conocidas desde el siglo XVII y, además de una amplia miscelánea de indicaciones terapéuticas, se han utilizado sobre todo para el tratamiento de los accidentes derivados del buceo. La medicina hiperbárica comprende el tratamiento de diversas entidades clínicas mediante presiones elevadas y, en general, implica la administración de O<sub>2</sub> dichas presiones. El futuro de las cámaras hiperbáricas como herramienta útil requiere un conocimiento más exhaustivo de la bioquímica del O<sub>2</sub> y sus repercusiones clínicas, una difusión de la abundante bibliografía sobre el tema entre el personal sanitario, un riguroso estudio para establecer la dosis respuesta en estudios controlados y la utilización de protocolos de tratamiento.

### Introducción

Las primeras aplicaciones de las cámaras hiperbáricas (CH) datan de los trabajos de Hensahw en 1662. Desde entonces, esta modalidad terapéutica ha pasado por diversas vicisitudes dentro del colectivo médico, desde ser considerada como una «panacea universal» para todo tipo de enfermedades, hasta ser usada por charlatanes sin otro afán que el del lucro. Tras el descubrimiento del oxígeno por Priestley y Scheele (1775), los trabajos de Paúl Bert y Haldane sentaron las bases fisiopatológicas para la utilización de mezclas respirables a presiones superiores al valor de la atmosférica. El tratamiento en CH respirando aire y/o O<sub>2</sub> puro a presiones aumentadas se utiliza desde principios de siglo en el tratamiento de la patología causada por la descompresión; sin embargo, a partir de los trabajos de Boerema (1960) y, sobre todo, desde la constitución de la *Undersea Medical Society* en 1976, se han podido precisar mediante amplios estudios controlados las indicaciones de la oxigenación hiperbárica (OHB).

### Concepto

Las CH son recipientes, generalmente cilíndricos y metálicos, en los que es posible elevar la presión por encima del valor de la atmosférica (fig. 2). La mezcla respirable en el interior puede ser aire, oxígeno u otras. La OHB se define como «un modo de tratamiento médico en el que el paciente es introducido en una CH y respira O<sub>2</sub> (a veces aire) a presiones superiores a 1 ATA. El O<sub>2</sub> llena por completo las CH monoplazas, mientras en las CH multiplazas el medio ambiente es aire comprimido y el paciente respira O<sub>2</sub> a través de máscara oronasal, tienda, intubación endotraqueal o tubo de traqueostomía.

## Bases físicas

El aire es una mezcla de gases que contiene en volumen: 20,9 de O<sub>2</sub>, 78,08 de N<sub>2</sub>, 0.03 de CO<sub>2</sub> y la pequeñas trazas de otros gases. La presión total ejercida por la mezcla es de 760 mmHg a nivel del mar. El adulto normal posee de 12 a 15 g de hemoglobina (Hb) por 100 ml de sangre. Exponiendo una solución de Hb a una atmósfera con una determinada presión parcial de oxígeno (PO<sub>2</sub>), las moléculas de éste entran en la solución y la mayoría del O<sub>2</sub> disuelto se fija a la Hb.

Exponiendo la Hb a tensiones de O<sub>2</sub> entre 0 y 100 mmHg, se puede obtener una curva sigmoidea que se conoce como curva de disociación de la Hb (fig. 3a). Un gramo de Hb saturada de O<sub>2</sub> retiene aproximadamente 1,34 ml de este gas. Además, en cada 100 ml de sangre en condiciones estándar hay 0,003 ml de O<sub>2</sub> disuelto no ligado a la Hb, por tanto, para una PO<sub>2</sub>, de 100 mmHg, 100 ml de sangre contendrán 0.3 ml de O<sub>2</sub> disuelto o 0.3 vol%.

El contenido de O<sub>2</sub> total en la sangre es la suma del ligado a la Hb y del disuelto.

Hb 15 g %			
PO <sub>2</sub> : 100 mmHg			
Saturación de O <sub>2</sub> : 100%			
1 g Hb transporta 1.34 ml O <sub>2</sub>			
15	x	1.34	x 1 = 20.1 vol % (O <sub>2</sub> ligado a Hb)
100	x	0.003	= 0.3 vol % (O <sub>2</sub> disuelto)

Una vez que la Hb está saturada al 100 el único O<sub>2</sub> que se puede añadir a la sangre es a expensas del O<sub>2</sub>.

Durante la OHB, la cantidad de O<sub>2</sub> disuelto aumenta según la presión a la que es respirado (Ley de Henry).

## Efectos de la oxigenación hiperbárica

Los efectos de la OHB sobre el organismo humano varían según el rango de presión aplicada, la concentración de O<sub>2</sub> inspirada y el estado cardiorrespiratorio de cada individuo, y podrían simplificarse en siguientes:

### Causados por el aumento de presión

Durante la compresión en CH, el aumento de presión causa una disminución del volumen (Ley de Boyle). Este efecto, que convenimos en denominar «mecánico», tiene importantes aplicaciones clínicas en todas aquellas entidades patológicas donde exista presencia de un volumen gaseoso anormal, por ejemplo embolismo aéreo, enfermedad descompresiva, íleo paralítico, etc.

El aumento de presión provoca, además, una elevación poco significativa de la densidad del gas a las presiones de trabajo habituales que sin embargo, debe tenerse en cuenta en pacientes con alteraciones respiratorias importantes, ya que aumenta el trabajo respiratorio (posible retención de CO<sub>2</sub>).

La temperatura se eleva durante la" fase de compresión en CH y disminuye en la descompresión dentro de límites fisiológicos.

### Causados por el aumento de la PO<sub>2</sub>

En condiciones hiperbáricas es posible aumentar el contenido de O<sub>2</sub> disuelto en el plasma (tabla 1). Llegando a disponer de casi 7 vol a la presión de 3 ATA (máxima presión de trabajo durante la OHB). Este fenómeno permite una disponibilidad de oxígeno muy importante en cuadros de hipoxia.

EFECTO DE LA PRESIÓN SOBRE LA PO <sub>2</sub> :				
PRESIÓN			VOL %O <sub>2</sub> DISUELTO EN PLASMA	
Metros	ATA	mmHg	RESPIRANDO	
			AIRE	O <sub>2</sub> PURO
Nivel del mar	1	760	0.32	2.09
5	1.5	1140	0.61	3.26
10	2	1520	0.81	4.44
20	3	2280	1.31	6.80

Tabla 1. Variaciones en la cantidad de O<sub>2</sub> disuelto con la presión

El aumento de PO<sub>2</sub> durante la OHB causa vasoconstricción que reduce el flujo en algunos territorios, pero persiste una oxigenación tisular eficaz aún con poco flujo debido a la PO<sub>2</sub> elevada. Este efecto tiene interés terapéutico en el tratamiento de algunos tipos de edemas rebeldes a la terapia convencional. La vasoconstricción no se manifiesta, o es muy discreta, en zonas anóxicas.

La OHB causa un descenso de entre un 10% y un 20% del gasto cardíaco debido fundamentalmente a la bradicardia causada por la presión. La tensión arterial apenas varía.

A nivel cerebral se produce vasoconstricción e incremento de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica. A presiones superiores a 3 ATA la OHB puede dar lugar a cuadros tóxicos sobre el sistema nervioso central (SNC).

Está demostrada la reducción del hematocrito, variaciones en la elasticidad de los glóbulos rojos y reducción de la agregación plaquetaria durante la OHB. Los efectos de la OHB sobre las infecciones por anaerobios están ampliamente documentados. El O<sub>2</sub> a presión inhibe microorganismos grampositivos y gramnegativos y puede considerarse como un «antibiótico de amplio espectro» frente a muchos de ellos; provoca disminución en la producción de alfatoxina liberada por algunos clostridios. La actividad

leucocitaria, el metabolismo de los fibroblastos, la síntesis del colágeno y la proliferación vascular y celular son muy sensibles a la hipoxia y mejoran durante los tratamientos hiperbáricos.

### **Efectos tóxicos**

El oxígeno es una «espada de Damocles», ya que además de los efectos beneficiosos antes mencionados puede ocasionar cuadros tóxicos cuyos mecanismos están relacionados con alteraciones del metabolismo cerebral, inhibición de algunas enzimas y formación de compuestos tóxicos (radicales libres y peróxidos lipídicos). La toxicidad por O<sub>2</sub> depende de la PO<sub>2</sub> duración de la exposición y susceptibilidad individual; además existen factores que la potencian (fiebre, corticoides, intoxicación por Paraquat. etc.) y otros que la previenen (hipovitamina E. hipotiroidismo, etc.). Se divide clásicamente en:

#### **Toxicidad pulmonar (síndrome de Lorrain-Smith)**

Se presenta al respirar concentraciones de O<sub>2</sub> superiores al 45% a presión atmosférica y con tiempos de exposición suficientemente prolongados (por ejemplo, unidades de cuidados intensivos). La mayoría de los tratamientos con OHB se realizan a presiones de entre 1.5 y 3 ATA, y la duración habitual es de 1 a 2 horas; entre estos límites no se han observado efectos adversos sobre la función pulmonar.

#### **Toxicidad sobre el SNC (efecto Paul Bert)**

El cerebro es uno de los órganos más sensibles a las PO<sub>2</sub> elevadas, y debe vigilarse la presentación de toxicidad sobre el SNC durante los tratamientos hiperbáricos. Las manifestaciones clínicas cursan, sobre todo, en forma de convulsiones «epileptiformes» reversibles al disminuir la presión. Son raras en la terapia hiperbárica y se previenen intercalando cortos períodos de respiración de aire entre los de O<sub>2</sub> cuando se llevan a cabo tratamientos de OHB prolongados.

#### **Indicaciones de las cámaras hiperbáricas**

Las CH se han utilizado, con más o menos acierto, para casi todo tipo de patologías, y no siempre basándose en criterios científicamente probados. La utilidad de la OHB está ampliamente documentada en la bibliografía disponible. Para no caer en errores pasados debería erradicarse la idea de que las CH «valen para todo» e indicarse esta modalidad terapéutica únicamente en aquellos casos en que el O<sub>2</sub> la presión o el efecto combinado de ambos sean beneficiosos como tratamiento primario o coadyuvante.

A partir de la constitución, en 1976. de la Undersea Medical Society se dividen las indicaciones de la OHB en los apartados que se citan a continuación:

1. Indicaciones aceptadas: incluyen aquellas entidades clínicas en las que la OHB como modo primario de tratamiento, o adjunta a otras medidas terapéuticas, ha demostrado su efectividad en amplios estudios controlados tanto en experimentación animal como en aplicación humana:
  - Enfermedad descompresiva
  - Embolismo arterial gaseoso
  - Intoxicaciones por CO, humos y otras
  - Gangrena gaseosa
  - Infecciones por anaerobios y bacteroides
  - Osteomielitis crónica refractaria
  - Pioderma gangrenoso
  - Micosis refractarias seleccionadas
  - Patología vascular periférica
  - Cuadros de anoxia/hipoxia
  - Necrosis post radiación
  - Lesiones traumáticas con isquemia
  - Injertos cutáneos
  - Edema cerebral agudo no recuperable por otros métodos.
  
2. Indicaciones en estudio: son aquellos cuadros patológicos que al ser tratados mediante OHB mostraron evolución positiva. Sin embargo, la falta de estudios controlados a doble ciego, la escasez de datos publicados o el pequeño número de pacientes en los que se aplicó hacen que se les considere en proceso de evaluación. Muchas de estas indicaciones no están contempladas en los decretos con la Seguridad Social vigentes en varios países, y el envío de pacientes incluidos en este grupo a los servicios de medicina hiperbárica debería protocolizarse de manera que permitan valorar la eficacia del tratamiento:
  - Lesiones traumáticas de cabeza y médula espinal
  - Injertos óseos
  - Accidentes cerebrovasculares agudos, trombóticos y embólicos
  - Choque
  - Quemaduras por frío
  - Abscesos intraabdominales e intracraneales
  - Lepra lepromacosa
  - Meningitis
  - Colitis pseudomembranosa inducida por antimicrobianos
  - Crisis de células falciformes
  - Patología isquémica de la retina
  - Parálisis faciales refractarias