350 años de la medicina hiperbárica: aspectos históricos, fisiopatogénicos y terapéuticos

Oswaldo Huchim¹, Fernando Rivas-Sosa², Normando Rivera-Canu³ y Nina Méndez-Domínguez³

¹Unidad Experimental Marista; ²Hospital General O'Horan; ³Universidad Marista de Mérida. Mérida, Yucatán, México

Resumen

El nacimiento de la medicina hiperbárica se remonta a la búsqueda por aliviar los problemas respiratorios prevalentes en las grandes urbes durante la revolución industrial, y desde entonces, los beneficios del tratamiento con oxígeno hiperbárico se han explorado en diferentes áreas de la medicina. Con el avance de la ciencia médica, nuestro conocimiento respecto a las terapias con oxigenación hiperbárica aún atrae el interés de los médicos investigadores contemporáneos que están en busca de mejorar la calidad de vida de sus pacientes.

PALABRAS CLAVE: Oxigenación hiperbárica. Enfermedad de descompresión. Presión atmosférica. Historia de la medicina. Procedimientos de terapia. Fisiopatogenia.

Abstract

The early use of hyperbaric therapy started with the quest to relieve respiratory problems among inhabitants of large cities during the industrial revolution, and from this, we have explored the benefits of treatment with hyperbaric oxygen in different areas of medicine. With the advances of the medical sciences, our knowledge concerning the therapies with hyperbaric oxygenation certainly has broadened and hyperbaric medicine still intrigues the contemporary medical researchers that are in seek of improve the quality of life of their patients.

KEY WORDS: Hyperbaric oxygenation. Decompression sickness. Atmospheric pressure. History of medicine. Therapeutics. Physiopathology.

Introducción

La oxigenación hiperbárica proporciona una terapia que se destina principalmente al tratamiento de la enfermedad por descompresión, generada por los cambios en la presión ambiental como sucede en el caso del buceo o en la aeronáutica. En un segundo lugar, la oxigenación hiperbárica es utilizada con fines cosméticos, debido a su uso popularizado para contrarrestar el envejecimiento celular. Sin embargo, la medicina hiperbárica ofrece mucho más que ello y es,

sin duda, un recurso útil durante el tratamiento integral de diversas patologías que involucran procesos isquémicos.

La oxigenoterapia hiperbárica puede tener varias aplicaciones en condiciones tanto de emergencia como para potencializar el efecto de las terapias integrales en patologías crónicas o en secuelas de eventos agudos. El propósito del presente artículo es revisar la historia y los mecanismos fisiopatogénicos involucrados en la terapia hiperbárica.

Correspondencia:

Nina Méndez-Domínguez
Periférico Norte Tablaje Catastral 13941 Carretera
Mérida- Progreso
C.P. 97300, Mérida, Yuc., México
E-mail: ninuxka@hotmail.com

Fecha de recepción en versión modificada: 12-12-2016
Fecha de aceptación: 04-01-2017
DOI://dx.doi.org/10.24875/GMM.17002950

Gac Med Mex. 2017;153:938-945
Contents available at PubMed
www.gacetamedicademexico.com

Antecedentes

El oxígeno, como otros gases, reacciona ante la presurización y la despresurización; al aumentar la concentración del oxígeno por la solubilidad del gas bajo presión, su gradiente de difusión se potencializa, lo cual permite una penetración profunda a los tejidos. Es por este principio que el tratamiento con oxigenación hiperbárica ayuda a la reparación de zonas tisulares mal perfundidas, hipóxicas, isquémicas, infartadas o necróticas. La mejor oxigenación permite desencadenar el proceso de recuperación del tejido y, adicionalmente, facilita la reperfusión y la angiogénesis.

El efecto del oxígeno hiperbárico en el tratamiento de diversas condiciones de salud se pudo conocer gracias a los experimentos realizados en las cámaras hiperbáricas con diversos modelos animales¹.

Las condiciones patológicas que involucran isquemia mejoran con el tratamiento con oxígeno hiperbárico, ya que dicho método consiste en la inhalación de oxígeno al 100% dentro de una cámara hiperbárica bajo presión, por lo general entre dos y tres atmósferas. Como cualquier tratamiento, las sesiones en la cámara hiperbárica implican dosificación tanto en términos de presión como en número de sesiones y en la duración de las mismas. La dosificación debe ser indicada en función de la condición médica a tratar, su gravedad y el tiempo de evolución^{2,3}.

Las cámaras hiperbáricas pueden ser de dos tipos: monoplaza o multiplaza. Mientras que en las monoplaza la presurización se da mediante el oxígeno y el aumento de presión es sistémico, las cámaras multiplaza son presurizadas con aire y el oxígeno es suministrado a los pacientes mediante una mascarilla, un casco o un tubo endotraqueal, según sea el caso⁴.

Metodología

Se hizo una revisión a partir del siglo XVII, en la cual se analizaron los textos y manuscritos históricos digitalizados por las bibliotecas universitarias. Se incluyó documentos relacionados con la temática relacionada a las características barométricas, climáticas y topográficas de los procesos de salud y enfermedad, pero también las bases conceptuales para el conocimiento de las propiedades fisiológicas de los gases en el organismo humano. La búsqueda de los artículos publicados a partir del siglo XIX se desarrolló en PubMed e incluyó los términos “caisson disease” o “hyperbaric oxygen therapy”, obteniéndose 651 registros, entre los cuales se seleccionaron aquellos

que abordaran diversas enfermedades o síndromes tratados con la terapia de oxígeno hiperbárico, y se optó por aquellos más recientes y con el mayor nivel de evidencia disponible (siendo de menor nivel de evidencia los artículos basados en la opinión de expertos, seguidos por los estudios de caso, series de casos, artículos originales, revisiones descriptivas, revisiones sistemáticas y metaanálisis) para ser incluidos en la presente revisión.

Bases físicas y fisiológicas de la terapia con oxigenación hiperbárica

Los efectos de la terapia con oxígeno hiperbárico se basan en los procesos bioquímicos que se desencadenan por la hiperoxigenación y los efectos fisiológicos que se propician de acuerdo con las leyes físicas y las propiedades de los gases.

En el organismo humano, el oxígeno se encuentra en buena parte transportado por el tejido sanguíneo, unido a la hemoglobina. Adicionalmente, una proporción del oxígeno es transportado en solución, y dicha proporción de oxígeno puede incrementarse y mejorar la oxigenación tisular bajo los principios enunciados en la ley de Henry^{4,5}.

La ley de Henry establece que la cantidad de gas disuelto en un líquido o tejido es proporcional a la presión parcial de dicho gas en contacto con el líquido o tejido. Esta es la base para el entendimiento de las presiones crecientes de oxígeno en el tejido cuando se recibe tratamiento de oxigenación hiperbárica. Esta ley también tiene implicaciones en la fisiopatología de la enfermedad por descompresión, ya que también afecta a las concentraciones de gases inertes (especialmente de nitrógeno) en el tejido, lo cual genera efectos sobre la concentración de dicho gas ante cambios barométricos, provocando una embolia arterial si no logra recapturarse en solución⁵⁻⁷.

El oxígeno a temperatura ambiente se encuentra a una concentración del 97%. Al respirar oxígeno normobárico, la presión arterial de oxígeno es de 100 mmHg, mientras que su presión tisular es de 55 mmHg y en cada litro de sangre se tienen disponibles 3 ml de oxígeno aproximadamente. Al respirar oxígeno al 100% a tres atmósferas absolutas, las presiones arterial y tisular de oxígeno se incrementan a 2000 y 500 mmHg, respectivamente, permitiendo que por cada litro de sangre haya 60 ml de oxígeno disponibles. En respuesta a esta alta cantidad de oxígeno disponible, los tejidos del organismo podrían potencialmente mantenerse oxigenados aun en

ausencia del oxígeno transportado en la hemoglobina. Por ello, la oxigenación hiperbárica permite que se oxigenen aquellas zonas de tejido dañado, aun cuando el paso de la sangre se encuentre obstruido o cuando los hematíes son incompetentes por sí solos para transportar el oxígeno, como sucede en los casos de envenenamiento por monóxido de carbono y en la anemia grave; así mismo, permite la oxigenación independiente del transporte de la hemoglobina en los casos en que existe daño microvascular, como sucede en la diabetes⁸⁻¹⁰.

El oxígeno captado con la respiración también varía durante el tratamiento en la cámara hiperbárica, debido a que, durante el descenso a la profundidad, la presión intraalveolar de oxígeno aumenta; esto sucede como una respuesta fisiológica que responde a la ley de Boyle y a la ley de Dalton. La ley de Boyle enuncia que, a una temperatura constante, la presión de un gas es inversamente proporcional a su volumen, mientras la ley de Dalton enuncia que en una mezcla de gases cada elemento ejerce una presión proporcional a su fracción del volumen total; dichas leyes explican el efecto de la presión parcial de oxígeno y su disposición intraalveolar¹¹⁻¹⁴.

En las infecciones, los radicales libres funcionan oxidando a las proteínas y los lípidos de membrana, dañando el ADN y las funciones metabólicas bacterianas. La terapia con oxígeno hiperbárico aumenta la concentración de radicales libres, y por ello es particularmente efectiva contra microorganismos anaerobios al promover el sistema de peroxidasas dependiente de oxígeno; dicho sistema es el que emplean los leucocitos para atacar a las bacterias. Así mismo, también mejora el transporte de antimicrobianos dependientes de oxígeno, permitiendo su entrada a través de las paredes celulares, coadyuvando y potencializando así su eficacia¹⁵⁻¹⁸.

En las lesiones a los tejidos, particularmente en los síndromes compartimentales, las lesiones por compresión, los colgajos y las laceraciones, ocurre que durante la reperfusión los leucocitos tienden a dirigirse y adherirse a los tejidos dañados para liberar radicales libres y proteasas, pero paradójicamente este proceso puede llevar a una vasoconstricción patológica que ocasione destrucción tisular por hipoxia. Un proceso semejante ocurre durante el proceso de isquemia-reperfusión neuronal y cardíaco durante los infartos. Existe evidencia de que el oxígeno hiperbárico reduce la adherencia leucocitaria y la vasoconstricción posisquémica, lo cual deriva en una mejor perfusión de las zonas isquémicas, a la vez que

favorece la oxigenación aun en ausencia de una buena perfusión. Otro mecanismo por el cual el tratamiento en la cámara hiperbárica favorece la curación de las lesiones por isquemia-reperfusión es que amplifica los gradientes de oxígeno en la periferia de las heridas isquémicas y con ello promueve la angiogénesis, la cual requiere la formación de matriz de colágena, misma que a su vez es dependiente del oxígeno. Finalmente, la terapia con oxígeno hiperbárico permite la redistribución del flujo sanguíneo debido a las diferencias en los gradientes, y por ello alivia el edema que se genera en los tejidos dañados, con lo cual se reduce el dolor y se mejora la función¹⁹⁻²³.

Es principalmente por las leyes físicas aquí expuestas, y las vías fisiológicas y fisiopatológicas involucradas, que la medicina hiperbárica ofrece beneficios para los problemas de salud que involucran dichas vías.

Historia

El nacimiento de la medicina hiperbárica se remonta, como todo hallazgo, a la observación y al análisis, en este caso de las diferencias en términos fisiológicos y de salud de las poblaciones humanas que viven en las diferentes zonas geográficas²⁴⁻²⁶.

Arbuthnot, cerca de 1655, mencionó la relación entre la humedad y el aprovechamiento del aire inspirado en diferentes lugares del mundo. Para la década de 1660, en Inglaterra, la Revolución Industrial y la emisión de gases de las fábricas con máquinas que operaban con vapor y carbón generaron la preocupación de los hombres de ciencia y médicos de la época. Fue a partir de dicho momento que surgió una creciente conciencia de que la contaminación del aire estaba teniendo efectos sobre la salud y el bienestar humano. Autores como Digby, en 1658, indicaban entre sus recomendaciones terapéuticas el mudarse fuera de Londres a aquellos que tuviesen «pulmones débiles, pero un amplio ingreso», para evitar el aire contaminado con carbón^{27,28}.

Nathaniel Henshaw, médico y clérigo inglés, perteneciente a la entonces naciente Royal Society, consciente de la teoría atomista, de la meteorología que fundaba sus bases en aquella época e integrando los conocimientos de la ciencia atmosférica y los principios de la ley de Boyle, pudo explicar las diferencias que había identificado en el estado de la salud de las personas que habitaban fuera de las urbes, y creía haber hallado una relación entre el clima y la altitud donde se habita con los perfiles de salud y enfermedad humanos^{13,25}.

Henshaw, cerca de 1662, construyó un *domicilium*, el cual consistía en una cámara con un fuelle presurizado con un mecanismo de tubos con válvulas que, al manipularlas, permitían o limitaban el paso del aire contenido en la cámara, con lo cual pudo controlar la presión interna de la cámara. En esa primitiva cámara hiperbárica se ofrecieron los primeros tratamientos basados en aire hiperbárico con la finalidad de ofrecer aire puro a los pacientes y tratar los tejidos con secreciones purulentas o «miasmas». Thomas Sprat abordó el trabajo de Henshaw en su libro acerca del conocimiento generado por la Royal Society, en 1734^{24,29,30}.

Otro estudio de la época con repercusiones importantes en el desarrollo de la oxigenación hiperbárica fue el de Joseph Black, en 1750, quien en ensayos empleando ratones aisló el monóxido de carbono del aire común. Para 1772, Rutherford descubrió el nitrógeno, y posteriormente, en 1774, Priestly fue el primero en hallar y dejar un reporte escrito sobre su trascendente descubrimiento: el oxígeno^{29,31}.

Originalmente, Priestly estaba en busca de generar el «aire desflogistizado», pues en su época se creía que de ese modo se retiraría lo «inflamable» al aire. Dicha creencia se basaba en la «teoría del flogisto», la cual a su vez se basaba en la cualidad inflamable de una sustancia hipotética que se creía parte del aire común. Gracias a Priestly pudo desecharse la existencia del flogisto, dando paso así a la química neumática. De acuerdo con sus registros, al experimentar con un modelo múrido, el ratón logró recuperarse de una agresión con fuego «mucho mejor» que si hubiese respirado aire común. Posteriormente, Lavoisier fue el primero en nombrar al oxígeno y describir su papel en la combustión, lo cual pudo desanimar a los galenos de su tiempo acerca del empleo de dicho gas, a pesar de los efectos benéficos que Priestly describió. En 1794 se reportó el primer centro de terapia oxigénica hiperbárica^{32,33}.

Es probable que la primera cámara cerrada herméticamente fuera idea de Cochrane en 1830, pero esta no fue patentada hasta 1839 por Trigger, quien la diseñó para evitar la enfermedad por descompresión en los mineros franceses, y de ahí que se conociera a las cámaras por el nombre en francés *caisson*. En 1834, Williams definió la «enfermedad de *caisson*» debida a los cambios barométricos en las alturas y las profundidades, que generan la formación de burbujas y la embolia gaseosa, definiéndola como la enfermedad de los buzos en su tratado de aeroterapéutica, que versa sobre la salud y la presión

atmosférica; en él se incluyen los planos para la fabricación de las cámaras. En 1857, Paul Bernard describió la afinidad del oxígeno por la hemoglobina, desencadenándose en esa época la demanda por los servicios de oxigenación hiperbárica en Europa y los EE.UU. Dichos tratamientos se proporcionaron inicialmente para curar lesiones, aliviar infecciones y mejorar la función respiratoria, pero enseguida se convirtieron en espacios para atención cosmética, siendo incluso frecuentadas por los cantantes para mantener su tono de voz. En su texto incluyó los esquemas y planos de las cámaras disponibles en su época, así como su funcionamiento^{1,32,34-38}.

La primera construcción de una cámara para los obreros que trabajaban en la construcción de un puente se remonta a 1859, en Rochester, Inglaterra, por Wrigth y Hudges. La vía para el ferrocarril subterráneo y el puente del río Hudson en los EE.UU. se iniciaron con la construcción del túnel principal en 1872 por Washington A. Roebling. Los dos cimientos de granito del puente de Brooklyn fueron construidos por los obreros que descendían desde unas plataformas de madera, alcanzando sumergirse a 44 pies en el lado de Brooklyn y 78 pies en el lado de Nueva York. Inicialmente, los obreros descendían sin tomar en cuenta la presurización, pero pronto se observaron las consecuencias graves debido a la enfermedad por descompresión. En ese momento, poco se sabía de los riesgos de trabajar bajo esas condiciones, y más de cien trabajadores sufrieron la enfermedad por descompresión. El mismo Washington Roebling experimentó la embolia gaseosa que lo dejó parcialmente paralizado para el resto de su vida. Al identificar este problema, se empezaron a utilizar cajones en lugar de plataformas para el descenso. Los cajones constaban de cámaras o compartimentos, cada uno con diferente presión, lo que permitía al individuo ir pasando gradualmente de uno a otro, manteniendo las puertas herméticamente cerradas, y así evitar los cambios barométricos bruscos que conducen a la descompresión. El médico del puente de Brooklyn, Adam Smith, retomó el término *caisson disease* y definió una técnica preventiva y los casos de descompresión en 1871 y 1873, describiendo las manifestaciones como el dolor epigástrico y la afectación neurológica. El 24 de mayo de 1883, Emily Roebling dio el primer paseo por el puente terminado, con un gallo como símbolo de victoria; esto marcó el final de la construcción del puente de Brooklyn, y el inicio de la construcción de cámaras hiperbáricas cada vez más complejas³⁸⁻⁴¹.

Entre 1904 y 1940 se publicaron diversos trabajos relacionados con la enfermedad por descompresión, identificándose la grasa corporal, y por ende la obesidad, como factor de riesgo; adicionalmente, se describió el daño tisular que ocasiona la descompresión de acuerdo con el tipo de órganos afectados, enfatizándose el efecto terapéutico del oxígeno hiperbárico. En 1937, Behnke y Shaw trataron la enfermedad por descompresión con éxito y posteriormente el envenenamiento por monóxido de carbono; para ese entonces, la más prominente fue la de Cunningham, en Kansas, registrada en 1952. A partir de 1956 hubo un resurgimiento de la medicina hiperbárica, con el control de la temperatura dentro de las cámaras hiperbáricas, lo cual permitió oxigenar y mantener templados a los pacientes durante las cirugías cardíacas por procesos agudos, e incluso la reparación de cardiopatías congénitas. Se estima que entre 1960 y 1977 se realizaron 187 cirugías a corazón abierto, siendo hasta ese momento la única indicación aprobada para emplear la terapia hiperbárica⁴²⁻⁴⁷.

Debido al interés por homologar y consensuar los usos de la terapia con oxígeno hiperbárico, en la década de 1970 se formó la Sociedad de Medicina Hiperbárica y Subacuática (UHMS, por sus siglas en inglés), que es la que actualmente emite directrices en referencia a esta terapia⁴.

A finales del siglo XX se consideraba que un exceso de cautela a causa del desconocimiento de los mecanismos reales que operan en la terapia hiperbárica era la causa de su subempleo en los casos en los que sí podría ofrecer beneficios a los pacientes, y para 1990 el cuerpo de evidencia de su empleo se encontraba en rápido crecimiento, permitiendo un mejor entendimiento del mecanismo de acción de la terapia hiperbárica y sus potenciales beneficios. Para la primera década del siglo XXI, dada a la preocupación de los médicos acerca del uso de la terapia hiperbárica debido a la controversia que se había generado, la UHMS emitió una lista de los 13 usos aprobados para la terapia hiperbárica. Aun siendo muy cierto que hay procesos fisiopatológicos en los cuales el mecanismo de acción del oxígeno hiperbárico es todavía poco conocido, a continuación expondremos las condiciones de salud para las cuales ha sido empleada la terapia con oxígeno hiperbárico en la época moderna de la medicina hiperbárica^{48,49}.

Antecedentes del tratamiento con oxígeno hiperbárico

La creciente población con exceso de peso, obesidad, dislipidemia y diabetes *mellitus* suele desarrollar

secuelas, y varias de ellas se derivan de la hipoperfusión y de la neuropatía periférica. La diabetes *mellitus* genera comúnmente, debido a la falta de una adecuada circulación microvascular e inervación en las extremidades, la formación de úlceras denominadas «necrobiosis diabética». Está descrito en la literatura científica que las úlceras derivadas del desequilibrio glucémico pueden ser aliviadas e incluso curadas mediante un tratamiento integral que involucre las sesiones con oxígeno en la cámara hiperbárica⁵⁰⁻⁵⁴.

Adicionalmente, el oxígeno hiperbárico suele mejorar la reperfusión, favoreciendo la angiogénesis incluso en arterias pequeñas, como la arteria retiniana, cuyo flujo es comúnmente afectado por la diabetes; por ello, la cámara hiperbárica puede ofrecer beneficios a los pacientes con retinopatía de etiología diabética y no diabética, así como en la retinitis pigmentosa⁵⁵⁻⁵⁷.

Así como el oxígeno hiperbárico mejora la oxigenación y favorece la circulación en pequeñas áreas del organismo, también ha mostrado ser efectivo en el oído, ayudando a la recuperación de dos importantes funciones que ocurren en el área auricular: la audición y el equilibrio. Estos hallazgos se han realizado tanto en personas con afectación de la agudeza auditiva como en quienes padecen acúfenos⁵⁸⁻⁶¹.

Al mejorar la perfusión y favorecer algunos aspectos neurosensoriales, se ha encontrado que la terapia con oxígeno hiperbárico es útil en la recuperación de los pacientes que sufren infartos cerebrales ateroscleróticos, así como en quienes sufren parálisis cerebral por hipoxia neonatal^{62,63}. En ciertos padecimientos más complejos, como es el caso del mal de Parkinson y del envenenamiento por monóxido de carbono, se ha logrado mejorar las funciones cognitivas de quienes han sufrido este tipo de daño⁶⁴⁻⁶⁶. En general, proporciona beneficios a los pacientes que sufren daños al sistema nervioso, incluso cuando se trata de neuropatías virales, como las generadas por el virus herpes zóster, o en los casos en que el daño cerebral es de tipo recurrente y crónico, o por tumores cerebrales. La terapia con oxígeno hiperbárico ha mostrado efectos positivos en la calidad de vida y la función de los pacientes pediátricos con trastornos del espectro autista⁶⁵⁻⁶⁹.

Los beneficios del tratamiento con oxígeno hiperbárico se han explorado en el área oncológica, encontrándose buenos resultados como tratamiento concomitante a la radioterapia, la quimioterapia o la fototerapia, y posterior a las cirugías de resección tumoral, entre ellas la mastectomía^{70,71}. Estos efectos del oxígeno hiperbárico se asocian directamente con la capacidad para regenerar tejidos dañados o en

proceso de cicatrización; precisamente es por ello por lo que también es útil en el cierre de colgajos posoperatorios derivados de accidentes, incluyendo incluso el cierre del cuero cabelludo en al menos un individuo que sufrió la separación de dicha área de tejido^{72,73}. Adicionalmente se ha encontrado una mejora en la función vesical en pacientes con cistitis hemorrágica derivada del tratamiento con radioterapia⁷⁴.

Los tejidos blandos dañados por diversas agresiones también pueden mostrar una mejoría importante con el tratamiento en la cámara hiperbárica, aun cuando existen datos de infección o gangrena, o si esta es de tipo gaseoso y genera síndrome compartimental o fascitis⁷⁵⁻⁷⁷. En el tejido cardíaco, la terapia con oxígeno hiperbárico ha servido para recuperar las zonas isquémicas en los infartos, debido a que favorece la oxigenación posisquemia-reperusión. Este mismo efecto favorable de la oxigenación hiperbárica que se ha observado en el miocardio se ha visto también en el tejido pulmonar^{78,79}.

En el tejido óseo se ha mostrado previamente la efectividad del oxígeno hiperbárico en las infecciones óseas y como coadyuvante en la cirugía cardioráquica con esternotomía, así como en la osteonecrosis secundaria a un traumatismo por cirugía o al consumo de bisfosfonatos^{68,80}.

En algunos padecimientos, ya sean agudos o crónicos, en los cuales se requiere liberar toxinas que resultan venenosas para el organismo, el tratamiento en la cámara hiperbárica es útil; tal es el caso del envenenamiento por monóxido de carbono, que puede generarse por la exposición a las emisiones de los vehículos que emplean gasolina, por dar un ejemplo, o por el veneno inoculado por animales ponzoñosos, como las serpientes^{81,82}.

Finalmente, se han reportado efectos benéficos de la oxigenación hiperbárica en los tratamientos hematológicos, en los cuales favorece la oxigenación y mejora la circulación de la sangre, tal como ocurre en los casos de anemia grave y en las discrasias sanguíneas, tales como la púrpura fulminante⁸³⁻⁸⁵. Su uso experimental para el tratamiento de ciertos tipos de infertilidad ha sido limitado hasta la fecha, aunque ha mostrado resultados prometedores⁸⁶.

Discusión

A la luz de la revisión en referencia a la historia de las cámaras hiperbáricas y al empleo del oxígeno hiperbárico con fines terapéuticos, puede reflexionarse que las bases físicas, fisiológicas y fisiopatológicas

sustentan su empleo en diversos procesos morbosos. La medicina hiperbárica es aún un campo de la ciencia que no ha sido explorado por completo, y a pesar de que para su uso en muchos padecimientos particulares no existe evidencia de ensayos clínicos controlados que concluyan que el beneficio de este tratamiento es significativamente superior a otros en términos estadísticos, es cierto también que científicamente no ha podido descartarse la efectividad de su empleo en los procesos patológicos que implican hipoperfusión, infección, isquemia o infarto, ya sean de manera aguda o crónica.

La efectividad del oxígeno hiperbárico debería ser, a nuestro parecer, evaluada como una terapia coadyuvante en el tratamiento de las personas que cursan con patologías que implican procesos de hipoperfusión, infección, isquemia o infarto, independientemente de la naturaleza etiológica que haya generado dicho estado mórbido, ya que si únicamente se trata de evaluar su efectividad enfermedad por enfermedad, por rara que sea, se estará innecesariamente subempleando este tipo de terapia que, bien empleada, puede permitir a los pacientes curarse en menor tiempo, tener menos secuelas o recuperar aspectos tan importantes como la sensibilidad o la función, lo cual incidirá directamente sobre la calidad de vida, la socialización y la productividad de los pacientes.

Un aspecto que potencialmente puede haber detrás del subempleo de la terapia con oxígeno hiperbárico en diferentes medios es el costo que implica para las empresas aseguradoras, las cuales limitan el acceso a la terapia con oxígeno hiperbárico a sus derechohabientes argumentando la falta de evidencia de su efectividad para el padecimiento específico de cada asegurado. Una posible solución a dicho conflicto de interés pudiera surgir si las indicaciones para la terapia con oxígeno hiperbárico fuesen no específicas para una enfermedad, sino para los síndromes y procesos patológicos que impliquen hipoxia, hipoperfusión, infección, isquemia o infarto; de ese modo podrían ofrecerse los beneficios de esta terapia a los pacientes que cumplan con dichos criterios. Esto podría incluso ser considerado un beneficio extra que pusiera a las empresas aseguradoras en ventaja sobre sus competidores, al ofrecer terapias que su competencia comúnmente niega.

Conclusiones

Conforme la ciencia médica avance, nuestros conocimientos respecto a las terapias con oxigenación hiperbárica sin duda se ampliarán, y es por ello por

lo que la medicina hiperbárica sigue siendo un nicho para la práctica clínica y la investigación, que a 350 años de su inicio mantiene el interés de los médicos investigadores contemporáneos que están en busca de mejorar la calidad de vida de sus pacientes.

Conflictos de intereses

Los autores del presente trabajo no tienen vínculos comerciales ni conflictos de intereses por declarar.

Bibliografía

- Edwards ML. Hyperbaric oxygen therapy. Part 1: history and principles. *J Vet Emerg Crit Care*. 2010;20:284-8.
- Shahriari A, Khooshideh M, Heidari M. Diseases treated with hyperbaric oxygen therapy: a literature review. *Med Hypothesis*. 2014;1(1).
- Hampson NB. Hyperbaric oxygen therapy: 2003 Committee Report. Undersea and Hyperbaric Medical Society; 1999.
- Gill A, Bell CN. Hyperbaric oxygen: its uses, mechanisms of action and outcomes. *QJM*. 2004;97:385-95.
- Boyle R. LXXXII. The solubility of radium emanation. Application of Henry's law at low partial pressures. *The London, Edinburgh, and Dublin Philosophical Magazine and Journal of Science*. 1911;22:840-54.
- Hulst RA, Klein J, Lachmann B. Gas embolism: pathophysiology and treatment. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2003;23:237-46.
- Bouck GR. Etiology of gas bubble disease. *Transactions of the American Fisheries Society*. 1980;109:703-7.
- Tibbles PM, Edelsberg JS. Hyperbaric-oxygen therapy. *N Engl J Med*. 1996;334:1642-8.
- Gabb G, Robin ED. Hyperbaric oxygen. A therapy in search of diseases. *Chest*. 1987;92:1074-82.
- Leach R, Rees P, Wilmshurst P. Hyperbaric oxygen therapy. *BMJ*. 1998;317:1140-3.
- Balestra C, Germonpré P, Poortmans JR, et al. Serum erythropoietin levels in healthy humans after a short period of normobaric and hyperbaric oxygen breathing: the "normobaric oxygen paradox". *J Appl Physiol*. 2006;100:512-8.
- Boyle R, Kesaris P, Hunter MCW. Letters and papers of Robert Boyle: a guide to the manuscripts and microfilm. Greenwood Pub Group; 1992.
- Boyle R. The general history of the air London. Printed for Awnsham and John Churchill; 1692.
- Dalton J. On the constitution of mixed gases, on the force of steam of vapour from water and other liquids in different temperatures, both in a Torricellian vacuum and in air; on evaporation; and on the expansion of gases by heat. *Memoirs, Literary and Philosophical Society of Manchester*. 1802;5:536-602.
- Brown DR, Davis NL, Lepawsky M, et al. A multicenter review of the treatment of major truncal necrotizing infections with and without hyperbaric oxygen therapy. *Am J Surg*. 1994;167:485-9.
- Clark L, Moon R. Hyperbaric oxygen in the treatment of life-threatening soft-tissue infections. *Respir Care Clin N Am*. 1999;5:203-19.
- Korhonen K, editor. Hyperbaric oxygen therapy in acute necrotizing infections. With a special reference to the effects on tissue gas tensions. *Ann Chir Gynaecol*. 2000;89(Suppl 214):7-36.
- Borriello G, Werner E, Roe F, et al. Oxygen limitation contributes to antibiotic tolerance of *Pseudomonas aeruginosa* in biofilms. *Antimicrob Agents Chemother*. 2004;48:2659-64.
- Myers RA. Hyperbaric oxygen therapy for trauma: crush injury, compartment syndrome, and other acute traumatic peripheral ischemias. *Int Anesthesiol Clin*. 2000;38:139-51.
- Zamboni WA, Roth AC, Russell RC, et al. Morphologic analysis of the microcirculation during reperfusion of ischemic skeletal muscle and the effect of hyperbaric oxygen. *Plast Reconstr Surg*. 1993;91:1110-23.
- Isik A, Peker K, Gursul C, et al. The effect of ozone and naringin on intestinal ischemia/reperfusion injury in an experimental model. *Int J Surg*. 2015;21:38-44.
- Daniel RA, Cardoso VK, Góis Jr E, et al. Evaluation of pulmonary reperfusion injury in rats undergoing mesenteric ischemia and reperfusion and protective effect of postconditioning on this process. *Rev Bras Cir Cardiovasc*. 2015;30:533-7.
- Andreadou I, Iliodromitis EK, Rassaf T, et al. The role of gasotransmitters NO, H₂S and CO in myocardial ischemia/reperfusion injury and cardioprotection by preconditioning, postconditioning and remote conditioning. *Br J Pharmacol*. 2015;172:1587-606.
- Neuman TS, Thom SR. Physiology and medicine of hyperbaric oxygen therapy. Philadelphia: Saunders/Elsevier; 2008.
- Aug G-B. Le mécanisme Cartésien et la physiologie au XVII^e siècle. *Isis*. 1914;2:37-89.
- Manley G. The weather and diseases: some eighteenth-century contributions to observational meteorology. *Notes and Records of the Royal Society of London*. 1952;9:300-7.
- Brimblecombe P. Air pollution in industrializing England. *Journal of the Air Pollution Control Association*. 1978;28:115-8.
- Arbuthnot J. An essay concerning the effects of air on human bodies: J. Tonson; 1733.
- Sprat T. The history of the Royal Society of London: for the improving of natural knowledge. J. Knapton; 1734.
- Henshaw N. Aërochalinosis. London: editor desconocido; 1667.
- Sternbach GL, Varon J. The discovery and rediscovery of oxygen. *Emerg Med J*. 2005;28:221-4.
- Williams CT. Aero-therapeutics or, the treatment of lung diseases by climate; Being the Lumleian Lectures for 1893 delivered before the Royal College of Physicians, with an address on the High Altitudes of Colorado. Macmillan and Company; 1894.
- Djerassi C, Hoffmann R. From oxygen: a play in two acts. *The Kenyon Review*. 2001;23:221-36.
- Priestley J. The discovery of oxygen. Part 1: experiments. WF Clay; 1894.
- Bowden ME, Rosner L. Joseph Priestley, radical thinker: a catalogue to accompany the exhibit at the Chemical Heritage Foundation Commemorating the 200th anniversary of the death of Joseph Priestley. Chemical Heritage Foundation; 2005.
- Riera i Tuèbols S. La teoria del flogist, la química pneumática i Antoine Laurent Lavoisier. *Ciència 2a època*. 2014;50:36-42.
- Bert P, Hitchcock MA, Hitchcock FA. Barometric pressure. College Book Company; 1943.
- Davies JV. The tunnel construction of the Hudson and Manhattan Railroad Company. *Proc Am Philos Soc*. 1910;49:164-87.
- Smith AH. The effects of high atmospheric pressure: including the caisson disease. Eagle Book and Job Print; 1873. 53 p.
- Butler W. Caisson disease during the construction of the Eads and Brooklyn Bridges: a review. *Undersea Hyperb Med*. 2004 Winter;31:445-59.
- McCullough D. The Great Bridge: the epic story of the building of the Brooklyn Bridge. Nueva York: Simon and Schuster; 2012. 605 p.
- Vernon H. The solubility of air in fats, and its relation to caisson disease. *Proceedings of the Royal Society of London Series B, Containing Papers of a Biological Character*. 1907;79:366-71.
- Boycoch A, Damant G. Experiments on the influence of fatness on susceptibility to caisson disease. *J Hygiene*. 1908;8:445-56.
- Erdmann W, Bruley DF. Oxygen transport to tissue XIV. Springer US; 2012.
- Aldrich C. Compressed-air illness, caisson disease. *Int Clin*. 1900;10:73-88.
- Boycott A, Haldane J. The effects of low atmospheric pressures on respiration. *J Physiol*. 1908;37:355.
- Thomson WA. The physiology of deep-sea diving. *BMJ*. 1935;2:208.
- Gordon J, Heacock C. Roentgenologic demonstration of localized gas in caisson disease. *JAMA*. 1940;114:570-1.
- Powers JG, Higham C, Broussard K, et al. Wound healing and treating wounds: chronic wound care and management. *JAAD*. 2016;74:607-25.
- Feldmeier J, Hopf H, Warriner III R, et al. UHMS position statement: topical oxygen for chronic wounds. *Undersea Hyperb Med*. 2005;32:157.
- Bishop AJ. Diabetic lower extremity ulcers and hyperbaric oxygen therapy. *J Endocrinol Diab*. 2015;2:1-5.
- Stoekenbroek R, Santema T, Legemate D, et al. Hyperbaric oxygen for the treatment of diabetic foot ulcers: a systematic review. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2014;47:647-55.
- Fagher K, Katzman P, Löndahl M. Hyperbaric oxygen therapy reduces the risk of QTc interval prolongation in patients with diabetes and hard-to-heal foot ulcers. *J Diabet Complications*. 2015;29:1198-202.
- Doctor N, Pandya S, Supe A. Hyperbaric oxygen therapy in diabetic foot. *J Postgrad Med*. 1992;38:112.
- Elraiyah T, Tsapas A, Prutsky G, et al. A systematic review and meta-analysis of adjunctive therapies in diabetic foot ulcers. *J Vasc Surg Cases*. 2016;63:46S-58S. e2.
- Murphy-Lavoie H, Butler F, Hagan C. Central retinal artery occlusion treated with oxygen: a literature review and treatment algorithm. *Undersea Hyperb Med*. 2012;39:943.
- Vingolo EM, Rocco M, Grenga P, et al. Slowing the degenerative process, long lasting effect of hyperbaric oxygen therapy in retinitis pigmentosa. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*. 2008;246:93-8.
- Körpınar Ş, Alkan Z, Yigit Ö, et al. Factors influencing the outcome of idiopathic sudden sensorineural hearing loss treated with hyperbaric oxygen therapy. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2011;268:41-7.
- Holy R, Navara M, Dosel P, et al. Hyperbaric oxygen therapy in idiopathic sudden sensorineural hearing loss (ISSNHL) in association with combined treatment. *Undersea Hyperb Med*. 2011;38:137.

59. Plein CT, Harounian J, Floyd E, et al. A systematic review of eligibility and outcomes in tinnitus trials reassessment of tinnitus guideline. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2016;154:24-32.
60. Cavallazzi G, Pignataro L, Capaccio P, editores. Italian experience in hyperbaric oxygen therapy for idiopathic sudden sensorineural hearing loss. *International Joint Meeting on Hyperbaric and Underwater Medicine*; 1996.
61. Stachler RJ, Chandrasekhar SS, Archer SM, et al. Clinical practice guideline sudden hearing loss. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2012;146(3 Suppl):S1-S35.
62. Mukherjee A, Raison M, Sahni T, et al. Intensive rehabilitation combined with HBO2 therapy in children with cerebral palsy: a controlled longitudinal study. *Undersea Hyperb Med.* 2014;41:77-85.
63. Chen S-Y, Huang E, Wang V, et al. Improvement of clinical outcome and cerebral perfusion in a patient of atherosclerotic cerebral infarction after repetitive hyperbaric oxygen treatment – a case report and literature review. *Undersea Hyperb Med.* 2011;38:375.
64. Shen M, He J, Cai J, et al. Hydrogen as a novel and effective treatment of acute carbon monoxide poisoning. *Med Hypotheses.* 2010;75:235-7.
65. Valadão J, Pearl J, Verma S, et al. Hyperbaric oxygen treatment for post-radiation central nervous system injury: a retrospective case series. *Undersea Hyperb Med.* 2014;41:87-96.
66. Weaver LK, Valentine KJ, Hopkins RO. Carbon monoxide poisoning: risk factors for cognitive sequelae and the role of hyperbaric oxygen. *Am J Respir Crit Care Med.* 2007;176:491-7.
67. Peng Z, Wang S, Huang X, et al. Effect of hyperbaric oxygen therapy on patients with herpes zoster. *Undersea Hyperb Med.* 2012;39:1083.
68. Freiburger JJ, Padilla-Burgos R, Chhoeu AH, et al. Hyperbaric oxygen treatment and bisphosphonate-induced osteonecrosis of the jaw: a case series. *Oral Maxillofac Surg.* 2007;65:1321-7.
69. Bent S, Bertoglio K, Ashwood P, et al. Brief report: hyperbaric oxygen therapy (HBOT) in children with autism spectrum disorder: a clinical trial. *J Autism Dev Disord.* 2012;42:1127-32.
70. Al-Waili NS, Butler GJ, Beale J, et al. Hyperbaric oxygen and malignancies: a potential role in radiotherapy, chemotherapy, tumor surgery and phototherapy. *Med Sci Monit.* 2005;11:RA279-RA289.
71. Fredman R, Wise I, Friedman T, et al. Skin-sparing mastectomy flap ischemia salvage using urgent hyperbaric chamber oxygen therapy: a case report. *Undersea Hyperb Med.* 2014;41:145-7.
72. Thom SR. Hyperbaric oxygen – its mechanisms and efficacy. *Plast Reconstr Surg.* 2011;127(Suppl 1):131S.
73. Khandelwal S, Wall J, Kaide C, et al. Case report: successful use of hyperbaric oxygen therapy for a complete scalp degloving injury. *Undersea Hyperb Med.* 2008;35:441-5.
74. Chong KT, Hampson NB, Corman JM. Early hyperbaric oxygen therapy improves outcome for radiation-induced hemorrhagic cystitis. *Urology.* 2005;65:649-53.
75. Hassan Z, Mullins RF, Friedman BC, et al. Treating necrotizing fasciitis with or without hyperbaric oxygen therapy. *Undersea Hyperb Med.* 2010;37:115.
76. Mortensen CR. Hyperbaric oxygen therapy. *Curr Anaesth Crit Care.* 2008;19:333-7.
77. Bakker DJ. Clostridial myonecrosis (gas gangrene). *Undersea Hyperb Med.* 2012;39:731.
78. Jordan JE, Zhao ZQ, Vinten-Johansen J. The role of neutrophils in myocardial ischemia-reperfusion injury. *Cardiovasc Res.* 1999;43:860-78.
79. Weyker PD, Webb CA, Kiamanesh D, et al. Lung ischemia reperfusion injury: a bench-to-bedside review. *Semin Cardiothorac Vasc Anesth.* 2013;17:28-43.
80. Yu WK, Chen YW, Shie HG, et al. Hyperbaric oxygen therapy as an adjunctive treatment for sternal infection and osteomyelitis after sternotomy and cardiothoracic surgery. *J Cardiothorac Surg.* 2011;6:1.
81. McGrath T, Hamilton R. Hyperbaric oxygen in the treatment of venomous snake bites. *Undersea Hyperb Med.* 2010;37:393-4.
82. Quinn DK, McGahee SM, Polite LC, et al. Complications of carbon monoxide poisoning: a case discussion and review of the literature. *Prim Care Companion J Clin Psychiatry.* 2009;11:74-9.
83. Cooper JS, Allinson P, Keim L, et al. Hyperbaric oxygen: a useful adjunct for purpura fulminans: case report and review of the literature. *Undersea Hyperb Med.* 2014;41:51-7.
84. Graffeo C, Dishong W. Severe blood loss anemia in a Jehovah's Witness treated with adjunctive hyperbaric oxygen therapy. *Am J Emerg Med.* 2013;31:756. e3-4.
85. Hart G, Lennon P, Strauss M. Hyperbaric oxygen in exceptional acute blood-loss anemia. *Undersea Hyperb Med.* 1987;2:205-10.
86. Pineda JF, Ortiz CG, Miguel G de J, et al. Improvement in serum anti-Müllerian hormone levels in infertile patients after hyperbaric oxygen (preliminary results). *JBRA Assisted Reproduction.* 2015;19:87-90.