

Uso de la cámara hiperbárica en el tratamiento del pie diabético

Mario Pimentel Jiménez¹
Laura Hermida Madrigal²
Nahum Nolasco Caba³

RESUMEN

La diabetes mellitus (DM) es la enfermedad endocrina más extendida que ha adquirido un carácter epidémico no infeccioso en todo el mundo; además, en el 70 % de los casos se desarrollan diferentes complicaciones, una de estas es el síndrome del pie diabético, el cual se complica al grado de ser la primera causa de amputación no traumática en miembros inferiores. La cámara hiperbárica se utiliza para el tratamiento de este padecimiento como un método alternativo. En la presente investigación se exponen los beneficios de la oxigenación hiperbárica (OHB) en el tratamiento del pie diabético para evitar una posible amputación de miembros inferiores. Se realizó una revisión sistemática de literatura a través de la búsqueda de artículos dedicados al uso de la cámara hiperbárica en el tratamiento del pie diabético en diversas bases de datos en una búsqueda estratégica con operadores lógicos. Se descartaron 27 artículos y el resto, 19 artículos, fueron seleccionados para su re-

visión. En conclusión, la OHB es un tratamiento no invasivo, efectivo y seguro para la cicatrización de heridas del pie diabético causado por la DM, con un periodo aproximado de 16 semanas desde la primera sesión hasta la curación de la herida.

Palabras clave: cámara hiperbárica, oxigenación hiperbárica, pie diabético, amputación.

INTRODUCCIÓN

Las cámaras hiperbáricas son dispositivos médicos utilizados para aplicar una presión atmosférica elevada de oxígeno puro al cuerpo, con el fin de que este elemento llegue a través del torrente sanguíneo a las áreas donde existe una deficiencia (Secretaría de Salud, 2018). Una aplicación de este dispositivo es la oxigenoterapia hiperbárica (OHB), que consiste en respirar oxígeno (O₂) en concentraciones cercanas al 100 % dentro de una cámara presurizada por encima de la

¹ Estudiante del séptimo semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo electrónico: uo17407008@olmeca.edu.mx

² Estudiante del séptimo semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo electrónico: uo17407003@olmeca.edu.mx

³ Asesor del texto y docente de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica. Universidad Olmeca. Correo electrónico: uo18017@olmeca.edu.mx

presión atmosférica normal. La oxigenación hiperbárica se utiliza como terapia primaria en algunas patologías e intoxicaciones o como adyuvante en patologías con inadecuado suministro de oxígeno a los tejidos. Este procedimiento es seguro debido a que es no invasivo ya que el oxígeno suministrado se da por medio de un inhalador, en un ambiente bajo presión (Asociación Argentina de Medicina Hiperbárica e Investigación, 2016).

Una de las distintas aplicaciones que la OHB es favorecer a los siguientes mecanismos: a) vasoconstricción no hipoxemiante; b) angiogénesis; c) osteogénesis; d) respuesta inmune celular frente a infecciones; e) síntesis de colágeno; f) antiinflamación y reducción de edema; g) proliferación y diferenciación celular; h) cicatrización de heridas; e i) neuroprotección (Asociación Argentina de Medicina Hiperbárica e Investigación, 2016)

La diabetes mellitus (DM) es la enfermedad endocrina más extendida que ha adquirido un carácter epidémico no infeccioso en todo el mundo. El número de pacientes con DM se duplica cada 10 o 15 años. En solo dos años, de 2005 a 2007, el número de pacientes con diabetes mellitus ha aumentado un 8.5 % en Rusia, un 13.5 % en Estados Unidos de América, un 20 % en Oriente Medio y un 30.7 % en Oceanía. En más del 70 % de los pacientes con diabetes mellitus se desarrollan diversas complicaciones, que incluyen el síndrome del pie diabético. Casi en la mitad de los pacientes el síndrome del pie diabético se complica con el desarrollo de procesos necróticos purulentos en el pie, lo que conduce a la amputación a varios niveles en 50 y 75 % de los casos (Obolenskiy *et al.*, 2014).

ANTECEDENTES

Esta terapia es conocida desde hace más de 300 años, pero su utilización empezó a partir de la década de 1960, con su expansión en distintos libros, manuales y revisiones en revistas (Desola, 1998).

En México los antecedentes de esta terapia

tienen sus inicios en la década de 1960, desde el año 1962 en el Hospital 20 de Noviembre (ISSSTE), donde se instaló la primera cámara hiperbárica monoplaza intrahospitalaria del país. En el año 1987 se funda la Asociación Mexicana de Medicina Hiperbárica y Subacuática (AMHS) que es aceptada como filial de la Undersea and Hyperbaric Medical Society (UHMS) en 1989. El congreso internacional de la UHMS viene por primera vez a este país y a Latinoamérica en 1997. En 1991 la Escuela Médico Naval de la Armada de México incluye en su plan de estudios la materia de Medicina Bárica y Subacuática. En mayo de 1997 se abre el primer servicio hospitalario capaz de tratar pacientes en estado crítico en el Hospital Ángeles del Pedregal de Ciudad de México (García *et al.*, 2000).

Los investigadores evaluaron la eficacia de la oxigenoterapia hiperbárica sistémica, además de un protocolo integral en la disminución de la tasa de amputación importante en pacientes diabéticos hospitalizados por úlcera grave en el pie, y concluyeron que, junto con un protocolo terapéutico multidisciplinario agresivo, es eficaz en la disminución de las amputaciones principales en pacientes diabéticos con úlceras graves y con frecuencia isquémicas en el pie (Faglia *et al.*, 1996).

Cianci *et al.*, (1997) presentó resultados de pacientes tratados con oxigenación hiperbárica, en donde no hubo necesidad de amputación en un 78 % de los pacientes ubicados en los grados III y IV de Wagner-Terri, además de tener un costo inferior al de la amputación.

En 2004 se publicó en la guía de tratamiento del pie diabético de la Sociedad Norteamericana de Enfermedades Infecciosas (IDSA, por sus siglas en inglés) lo siguiente: «los estudios no han definido aún el papel de la mayoría de las terapias adjuntivas para las infecciones del pie diabético, pero las revisiones sistemáticas sugieren que los factores estimulantes de la colonia de granulocitos y la oxigenoterapia hiperbárica sistémica ayuda a prevenir las amputaciones.

Estos tratamientos son útiles para infecciones graves o para aquellos que no han respondido al tratamiento, a pesar de corregir todos los factores adversos locales y sistémicos susceptibles de ser» (Lipsky *et al.*, 2004)

JUSTIFICACIÓN

Uno de los problemas secundarios más graves de los diabéticos es la aparición de úlceras en los pies, como consecuencia del efecto sostenido en el tiempo de dos entidades crónicas: la neuropatía periférica y la insuficiencia vascular. La entidad conocida como «pie diabético» es el resultado del efecto combinado de la angiopatía, la neuropatía y el mayor riesgo de infecciones, junto con el efecto de las presiones intrínsecas y extrínsecas secundarias a malformaciones óseas en los pies. En la actualidad la diabetes mellitus es la primera causa de amputación no traumática en miembros inferiores (Del Castillo *et al.*, 2014).

Al momento de tener el padecimiento del pie diabético existe una serie de tratamientos utilizados comúnmente, llamada escala de Wagner-Merrit, la cual consta de 5 grados: A) Grado 0 (piel intacta); B) Grado 1 (úlceras superficiales); C) Grado 2 (úlceras profundas del tendón, hueso o articulación); D) Grado 3 (úlceras profundas con absceso u osteomielitis); E) Grado 4 (gangrena del antepie); y F) Grado 5 (gangrena entera del pie) (Andrade, 2019), que es el que genera amputación de miembros inferiores.

Una terapia alternativa a la de Wagner-Merrit es la OHB, que ayuda en la cicatrización de las heridas del pie diabético, por lo tanto, a lo largo de este proyecto, se presentan sus beneficios y ventajas frente a los tratamientos convencionales para evitar las amputaciones de miembros inferiores.

OBJETIVO

Exponer los beneficios de la oxigenación hiperbárica (OHB) en el tratamiento del pie diabético para evitar una posible amputación de miembros inferiores.

METODOLOGÍA

Se realizó una revisión sistemática de literatura a través de la búsqueda de artículos dedicados al uso de la cámara hiperbárica en el tratamiento del pie diabético en las bases de datos PubMed (MEDLINE), LILACS y EMBASE, se usó una estrategia de búsqueda con términos operadores lógicos (operadores que localizan los artículos que contienen los términos coincidentes en uno o en todos los campos especificados) AND y OR, con la siguiente estructura: (Hyperbaric chamber) AND (diabetic foot*) AND (adult* OR young adult). Se utilizaron filtros de limitación por año (10 años), estudio en humanos y adultos; se encontraron 5 títulos en PubMed (MEDLINE) y 39 en EMBASE. Con la estrategia de búsqueda «Hyperbaric chamber AND diabetic foot» se encontraron 2 en LILACS con fecha de consulta noviembre de 2020. Los criterios para la valoración de los estudios se basaron en los artículos que respondían a la pregunta PICO (por las siglas en inglés que corresponden a paciente, intervención, comparación y resultados): población (jóvenes o adultos), intervención (pie diabético) y desenlace (recuperación o amputación). Se revisaron de manera independiente los títulos y resúmenes para identificar si cumplían con los criterios de inclusión, además, que existía relación de la información contenida en los artículos con el tema a tratar sin desviarse de este. Se descartaron 2 artículos de PubMed (MEDLINE), 24 artículos de EMBASE y 1 artículo de LILACS. Finalizado este proceso se seleccionaron 3 artículos de PubMed (MEDLINE), 15 artículos de EMBASE y 1 de LILACS, para un total de 19 artículos.

RESULTADOS

En particular, la OHB se utiliza para heridas con problemas de cicatrización. Con respecto al pie diabético, está indicada en heridas que cumplen con una clasificación establecida (Wagner grado 3 o superior) con determinadas características (úlceras que penetra el ten-

dón, hueso o articulación, presenta absceso o gangrena y no ha mostrado signos mensurables de curación). (Cannellotto *et al.*, 2018)

En todos los tipos de úlceras diabéticas en pies o manos de cualquier grado, un aumento significativo de la presión transcutánea de oxígeno tras la aplicación de OHB indica un aumento de las probabilidades de viabilidad del miembro afectado y de cicatrización y retardo de la cronicidad de la lesión (Cannellotto *et al.*, 2018)

Castro *et al.* (2017) trabajaron con 220 pacientes, en los que se obtuvo mejoría general en 149 (67.7 %), se presenta mayor respuesta en estadios II y III de Wagner. En quienes recibieron de 16 a 30 sesiones se comprueba que 77 (64.16 %) mantuvieron su mejoría alcanzada y solo 43 (28.85 %) presentó re-

caída. Por lo que establecieron que la OHB es favorable y permanente en 52.72 %, identificándose un 15 % con beneficio temporal.

Oliviera *et al.*, (2014) establecieron su propio protocolo de administración de oxígeno hiperbárico, el cual se administró 5 días a la semana en una cámara hiperbárica multiplaza a 26 pacientes. Durante cada sesión, los pacientes respiraron oxígeno puro a 2,4 atmósferas absolutas (ATA) durante 3 períodos de 30 minutos (en total 90 minutos) intercalados por intervalos de 5 minutos en un ambiente ambulatorio. En este estudio el 82 % de las lesiones demostraron una cicatriz completa o casi completa de la cicatrización después de la OHB. El período medio de curación desde la primera sesión de OHB fue de 16 semanas (Oliveira *et al.*, 2014).

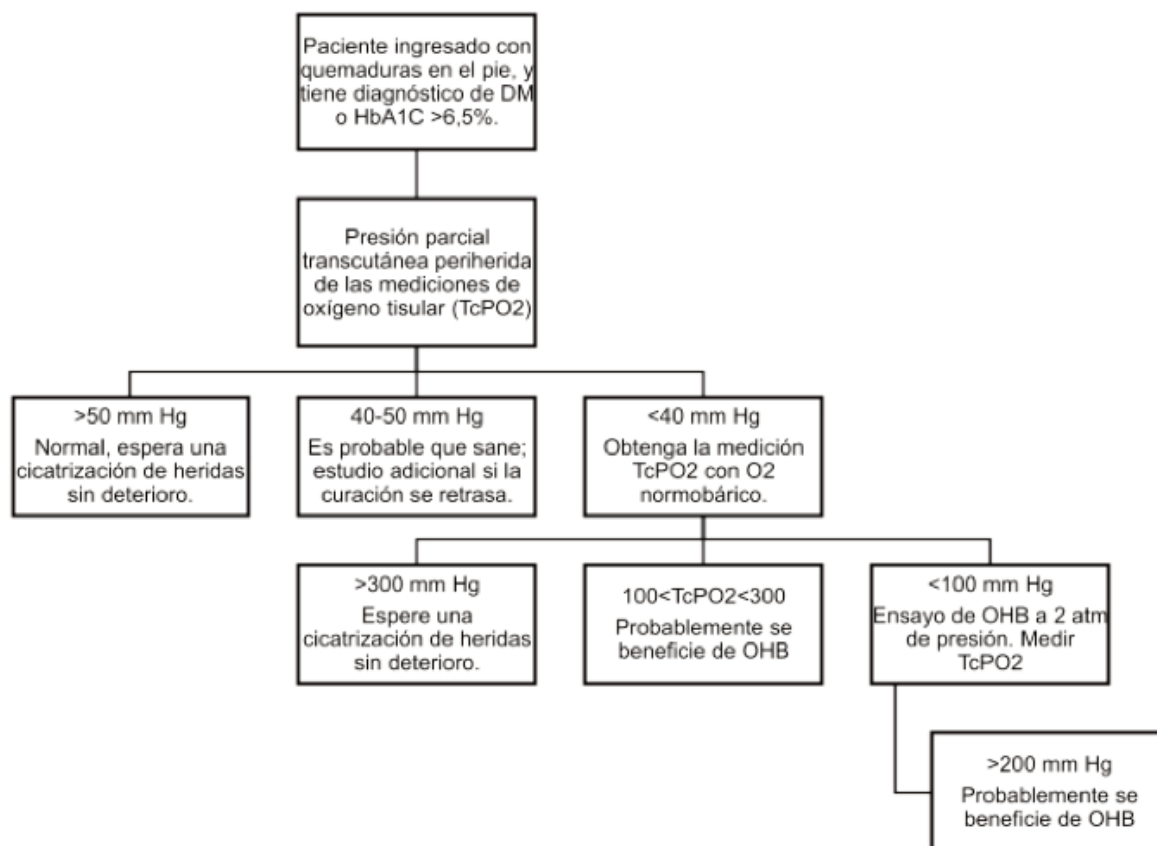


Figura 1. Algoritmo para el uso de OHB en quemaduras de pie diabético. DM, diabetes mellitus; HbA1c, hemoglobina A1c (Diagrama obtenido y traducido de Elkins-Williams, S. T., Marston, W. A. y Hultman, C. S. (2017). Management of the Chronic Burn Wound. *Clinics in Plastic Surgery*, 44, 679-687.

Dado el éxito de la OHB en las heridas del pie diabético, ha habido una investigación reciente sobre el desarrollo de un protocolo para el manejo de las quemaduras en los pies en pacientes diabéticos (Elkins-Williams *et al.*, 2017). Se resume su protocolo para determinar qué pacientes podrían beneficiarse de la OHB en la **figura 1**.

LA OHB EN DINAMARCA

Vinkel *et al.*, (2019) describieron la población de pacientes con úlceras por pie diabético (DFU) que fueron referidos a OHB en Dinamarca en el período 1999-

2016. Con un total de 148 pacientes, la mediana de supervivencia después del primer OHB fue de 4.6 años con una mortalidad acumulada de 1 y 5 años del 14.2 %. La mediana total del tiempo hasta la primera amputación (todos los niveles) después de la remisión a OHB fue de 0.9 años con un riesgo acumulado de amputación de 73.3 %.

LA OHB CONTRA OTRAS TERAPIAS

La comparación de la OHB contra otras terapias para la cicatrización de heridas se muestra en la tabla 1 y se marcan de color amarillo las características de la OHB.

Tabla 1. Modalidades de terapia física para la cicatrización de heridas

Modalidad	Objetivo de tratamiento	Efecto fisiológico de la modalidad	Nivel de evidencia *Basado en criterios de Oxford*				
			Aguda	Arterial	Venoso	Presión	Diabético
Ultrasonido de alta frecuencia	Aumentar la cicatrización de heridas	Acelerar o reactivar la cicatrización normal de heridas Elimina la biocarburación	N	N	1a	N	N
Ultrasonido de baja frecuencia	Desbridar el lecho de la herida	biocarburación a través de la cavitación y la microtransversación	N	1b	4	N	1b
Energía infrarroja monocromática	Aumentar la cicatrización de heridas, aumentar la sensación de protección	Aumenta la microcirculación y libera óxido nítrico, un potente vasodilatador	N	N	4	4	4
Estimulación eléctrica	Aumentar la cicatrización de heridas, decrementar la infección	Estimula la actividad bioeléctrica endógena, bactericida	N	2a	2a	1b	1b
Oxígeno hiperbárico	Aumentar la cicatrización de heridas, decrementar la infección	Aumenta la oxigenación tisular, bactericida	N	2a	N	N	1a
Terapia de heridas de presión negativa	Aumentar la cicatrización de heridas	Aumenta la granulación de la herida, disminuye las bacterias y el edema	1b	2a	2a	2a	2a

Nota: N, ninguna; 1a, basado en los hallazgos de una revisión sistemática de ensayos controlados aleatorios con heterogeneidad preocupante; 1b, basado en los hallazgos de ensayos controlados aleatorios individuales con un intervalo de confianza estrecho; 2a, sobre la base de las conclusiones de una revisión sistemática, con homogeneidad, de estudios de cohortes; 3b, sobre la base de los resultados de estudios de control de casos individuales; 4, sobre la base de los hallazgos de series de casos o estudios de cohorte y caso-control de mala calidad (Guccione *et al.*, 2012).

EFFECTOS SECUNDARIOS

Más comunes

La OHB es un tratamiento seguro con varios efectos secundarios potenciales, como traumatismos relacionados con la presión (otitis barotraumática, neumotórax) y efectos adversos debidos a la toxicidad del oxígeno (convulsiones, toxicidad pulmonar). Algunos pacientes experimentan claustrofobia debido al espacio reducido de las cámaras de tratamiento. La hipoglucemia también es una complicación de OHB (Sahni *et al.*, 2014).

El efecto secundario más común de OHB es el barotrauma del oído medio. Una incidencia de casi el 2 % se encontró en una retrospectiva revisión, eso incluía una población militar de 1446 pacientes que recibió una total de 31 599 terapias. La compresión de los senos nasales ocurre con menos frecuencia que los barotraumas de oído medio, son el segundo más común y suele ocurrir cuando existe una complicación relacionada en pacientes con infecciones del tracto respiratorio superior o rinitis alérgica. También se ha observado miopía progresiva en algunos pacientes que pasan períodos prolongados de OHB, aunque suele invertirse unos días o varias semanas después de la última terapia. Otros efectos reversibles incluyen la contracción de visión periférica y reducción en la respuesta eléctrica de células gliales retinianas para una ceguera ligera (Nasole *et al.*, 2019).

Pérdida del gusto

Los pacientes con heridas no curativas en comparación con personas sanas se caracterizan por una sensibilidad reducida al gusto. Después de la participación en la oxigenoterapia hiperbárica se observa una mejora en la percepción de las sensaciones gustativas y los cambios en la evaluación hedónica entre los pacientes con heridas no curativas. En términos de preferencia alimentaria, la oxigenoterapia hiperbárica contribuye a una

disminución del deseo de comer postres dulces, chocolate y papas fritas (Hartman-Petrycka *et al.*, 2016).

ADN

Estudios recientes en seres humanos sometidos a la OHB han revelado que esta es capaz de inducir daño oxidativo del ADN en linfocitos, mientras que la importancia biológica de este resultado todavía no está clara (Üstündağ *et al.*, 2012).

CONCLUSIONES

La OHB es un tratamiento seguro, por ser no invasivo, por lo que sus efectos secundarios no suelen ser muy problemáticos, ya que estos no ponen en riesgo la función ni la vida de los pacientes, además de ser reversibles. Por otro lado, ha demostrado ser efectivo en pacientes que presenten estadios II y III de Wagner, sin mencionar que esta terapia indicó un aumento de las probabilidades de viabilidad del miembro afectado y de cicatrización y retardo de la cronicidad de la lesión, por lo tanto, se aumenta la esperanza de no amputación de miembros inferiores para los pacientes.

Cabe mencionar que es un tratamiento no tardado, pues no son necesarias más de 2 horas diarias durante 5 días, se muestran resultados efectivos de curación a las 16 semanas. De igual forma que no solo ayuda en la cicatrización de heridas, además ayuda a disminuir las infecciones que se pudieran presentar.

No obstante, al ser un tratamiento de reciente repunte, es desconocido para muchos, además, en el estado de Tabasco esta terapia no es brindada por los hospitales públicos, es más bien un servicio ofertado por empresas privadas, por lo cual su alcance es limitado, se espera que en un futuro los hospitales de gobierno puedan adoptar este nuevo tratamiento y así mejorar la calidad de vida de las personas que padecen lesiones por pie diabético.

En conclusión, la OHB es un tratamiento efectivo y seguro para la cicatrización de heridas del pie diabético causado por la diabetes mellitus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, E. C.** (2019). Complicaciones según la Escala de Wagner-Merrit en pacientes con diabetes mellitus insulino dependiente con complicaciones vasculares periféricas Consulta Externa Hospital General Guasmo Sur. Ecuador.
- Asociación Argentina de Medicina Hiperbárica e Investigación.** (junio de 2016). Medicina Hiperbárica. Recuperado el 10 de septiembre de 2020 de AAMHEI: <https://aamhei.com/medicina-hiperbarica-3/>
- Cannellotto, D. M., Romero Feris, D., Pascuccio, M. M., & Jordá Vargas, L.** (2018). Aplicaciones médicas de las cámaras de oxigenación hiperbárica de nueva generación. Revista de la Asociación Médica Argentina, 131(4), 12-20.
- Castro López, R. E., Chávez Mayol, J. M., Rodríguez Piñeyro, O. M., Meléndez Mier, G., & Cervantes Molina, M. L.** (2017). Use of hyperbaric oxygen therapy in T2 diabetics with pelvic lesions. Clinical experience. Revista Médica del Hospital General de México, 80(4), 204-211.
- Cianci, P., Petrone, G., & Green, B.** (1997). Long-term results of aggressive management of diabetic foot ulcers suggest significant cost effectiveness. Wound Repair and Regeneration, 5(2), 141-146.
- Del Castillo, R. A., Fernández, J. A., & Del Castillo, F. J.** (2014). Guía práctica clínica en el pie diabético. Archivos de medicina, 10(2).
- Desola, J.** (junio de 1998). Bases y fundamento terapéutico de la oxigenoterapia hiperbárica. Revista Virtual de Medicina Hiperbárica, 54(1260). Recuperado el 11 de septiembre de 2020, de <https://www.ccmh.com/REVISTA-OHB/Bases-OHB-ROHB-Desola.pdf>
- Elkins-Williams, S. T., Marston, W. A., & Hultman, C. S.** (2017). Management of the Chronic Burn Wound. Clinics in Plastic Surgery, 44, 679-687.
- Faglia, E., Favales, F., Aldeghi, A., Calia, P., Quarantiello, A., Oriani, G., . . . Morabito, A.** (1996). Adjunctive systemic hyperbaric oxygen therapy in treatment of severe prevalently ischemic diabetic foot ulcer. A randomized study. Diabetes Care, 19(12), 1338-1343.
- García Covarrubias, L., & Sánchez Rodríguez, E. C.** (2000). Terapia con oxigenación hiperbárica, conceptos básicos. Gaceta Médica de México, 136(1), 23-30.
- Guccione, A., Wong, R., & Avers, D.** (2012). Geriatric Physical Therapy (3 ed.). Elsevier Inc.

