

# Colgajos surales de flujo reverso y terapia de oxígeno hiperbárico en heridas complejas del pie diabético: Optimizando la supervivencia y cicatrización

## Reverse sural flap and hyperbaric oxygen therapy in complex diabetic foot wounds: Optimizing survival and healing

Mireya N. Vega-Campos<sup>1</sup>, Arturo Hernández-Reyes<sup>1</sup>, Valentín Rodríguez-Ayala<sup>2</sup>, Miriam Galindo-Domínguez<sup>2</sup>, Manuel Castillejos-López<sup>3</sup>, Bianca S. Romero-Martínez<sup>4</sup>, Edgar Flores-Soto<sup>4\*</sup>

1. Escuela de Posgrado en Sanidad Naval, Universidad Naval, Secretaría de Marina de México, 04800 Veracruz, México.
2. Hospital Naval de Especialidades de Veracruz, Especialista en Nefrología, 91700 Veracruz, México.
3. Departamento de Epidemiología e Infectología Hospitalaria, Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias Ismael Cosío Villegas (INER), 14080 CDMX, México.
4. Departamento de Farmacología, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, 04510 CDMX, México.

\***Autor de correspondencia:** Dr. Edgar Flores-Soto.

Universidad Nacional Autónoma de México.

Av. Universidad 3004, Copilco Universidad, Coyoacán. C. P. 04510 Ciudad de México, CDMX.

Tel (55)56232279. Correo electrónico: [edgarfloressoto@yahoo.com.mx](mailto:edgarfloressoto@yahoo.com.mx)

DOI <http://dx.doi.org/10.28960/revmeduas.2007-8013.v13.n4.003>

Recibido 07 de agosto 2023, aceptado 02 de octubre 2023

### RESUMEN

**Objetivo:** Evaluar la eficacia y el impacto de la combinación de la técnica quirúrgica de colgajos surales de flujo reverso y la terapia con oxígeno hiperbárico (OHB) en el tratamiento de heridas complicadas en pacientes con pie diabético. **Material y Métodos:** Se admitieron pacientes diabéticos con lesiones en el pie que cumplieran con los criterios de selección para la aplicación de un colgajo sural de flujo reverso, evaluado mediante la clasificación Wifi. Se administró terapia con OHB en una cámara a una presión de 2.3 ATA durante 60 minutos en 20 sesiones. Se realizaron evaluaciones Wifi y Doppler al inicio del estudio, antes de la colocación del colgajo junto con 10 sesiones de OHB, y después de la colocación del colgajo seguida de 20 sesiones de OHB. **Resultados:** Mostraron una mejora significativa en la perfusión tisular y cicatrización de las heridas en el grupo tratado con OHB (Grupo A) en comparación con el grupo de control (Grupo B). Además, se presentaron dos casos clínicos detallados que ilustran la diferencia en la evolución de las heridas entre los dos grupos, destacando la importancia de intervenciones tempranas y adaptadas para mejorar el manejo de heridas crónicas en pacientes diabéticos. **Conclusiones:** La combinación de colgajos surales de flujo reverso y terapia hiperbárica es más efectiva en mejorar la perfusión tisular, la cicatrización de heridas y la dinámica circulatoria en pacientes diabéticos con heridas complicadas en el pie, en comparación con el tratamiento estándar.

**Palabras clave:** Pie diabético, colgajos surales de flujo reverso, tratamiento con oxígeno hiperbárico

### ABSTRACT

**Objective:** To evaluate the efficacy and impact of the combination of the reverse flow sural flap surgical technique and hyperbaric oxygen (HBO) therapy in the treatment of complicated wounds in patients with diabetic foot. **Material and Methods:** diabetic patients with foot lesions who met the selection criteria for the application of a reverse flow sural flap were included, evaluated using the Wifi classification. HBO therapy was administered in a chamber at a pressure of 2.3 ATA for 60 minutes in 20 sessions. Wifi and Doppler assessments were performed at baseline, before flap placement along with 10 HBO sessions, and after flap placement followed by 20 HBO sessions. **Results:** They showed a significant improvement in tissue perfusion and wound healing in the HBO treated group (Group A) compared to the control group (Group B). In addition, two detailed clinical cases were presented illustrating the difference in wound progression between the two groups, highlighting the importance of early and adapted interventions to improve the management of chronic wounds in diabetic patients. **Conclusions:** The combination of reverse flow sural flaps and hyperbaric therapy is more effective in improving tissue perfusion, wound healing and circulatory dynamics in diabetic patients with complicated foot wounds, compared to standard treatment.

**Keywords:** Diabetic foot, reverse flow sural flaps, hyperbaric oxygen treatment

## INTRODUCCION

La úlcera de pie diabético se define como una lesión distal al tobillo con pérdida total de la piel, son una de las complicaciones crónicas más comunes de la diabetes mellitus (DM), presentándose en hasta un 12-15% de los pacientes diabéticos, y es la causa de entre un 40-60% de las amputaciones no-traumáticas<sup>1-3</sup>. En promedio un 40% de los pacientes tienen hospitalizaciones recurrentes, y 1 de cada 6 de estos pacientes fallecen a lo largo de 1 año<sup>4</sup>. El desarrollo de las úlceras de pie diabético son de origen multifactorial, incluyen la neuropatía diabética, enfermedad arterial periférica, deformidades del pie (pie de Charcot, dedo de martillo, etc.), descontrol glicémico, ulceraciones previas, amputación previa, tabaquismo, entre otros<sup>5</sup>.

La evolución de la úlcera en el pie diabético suele pasar por tres fases. Comienza con la formación de un callo debido a la neuropatía. Después, la neuropatía motora y sensorial facilita el desarrollo de deformidades en el pie y lesiones recurrentes. La piel seca y los problemas vasculares también contribuyen a que una lesión eventualmente se erosione, convirtiéndose en una úlcera y volviéndose más propensa a infecciones<sup>6</sup>.

Considerando los 3 componentes principales de la fisiopatología de la úlcera de pie diabético, la lesión, isquemia e infección, la Sociedad de Cirugía Vascular (SVS) desarrolló el sistema de clasificación WIFI (por sus siglas en inglés)<sup>7</sup>.

Es indispensable tratar el control glucémico del paciente y mitigar las complicaciones como puede ser la amputación. Se considera que hay 5 principios básicos que debe seguir el tratamiento de las úlceras<sup>5,6</sup>: Reducción de la presión en úlceras plantares, desbridamiento del tejido necrótico y no viable, revascularización en heridas isquémicas, tratamiento de infecciones de tejidos blandos/óseos y la utilización de apósitos tópicos.

Existen estrategias para el tratamiento avanzado de heridas, como puede ser utilizar la terapia de presión negativa, terapia biofísica, factores de crecimiento, tejidos de matriz acelular, terapias de oxígeno, entre otros<sup>5</sup>. Una estrategia comúnmente utilizada, es la de colgajos quirúrgicos, que son unidades de tejido transferible que cuentan con su propia vascularización y pueden provenir de múltiples tipos de tejido incluyendo tejido blando, piel, musculo, grasa o fascia<sup>8</sup>. En particular, el colgajo sural reverso es una técnica utilizada sobre todo en casos de úlceras diabéticas, lesiones infectadas y escisiones amplias de cáncer de piel maligno<sup>9</sup>. Existen múltiples ventajas en esta técnica como son una disección sencilla, una técnica que no requiere de técnicas microquirúrgicas, una baja morbilidad del donador y la preservación de las 3 arterias principales de la pierna<sup>9</sup>. Los colgajos surales reversos han demostrado una gran efectividad en el tratamiento de las úlceras de

pie diabético, con una mayor tasa de recuperación y menores complicaciones que en colgajos locales<sup>9</sup>.

En este sentido, también ha sido implementado la terapia con oxígeno hiperbárico (OHB) dado que sus mecanismos de acción promueven la proliferación de fibroblastos, estimulan la angiogénesis, tienen efectos antioxidantes, promueven la función inmune, entre otros<sup>10</sup>. Aun no existe un consenso sobre la implementación sobre la terapia con OHB en la úlcera de pie diabético, sin embargo, en meta-análisis y revisiones realizadas sobre el uso de esta terapia se ha reportado que incrementa la tasa de cicatrización y reduce el riesgo de amputación<sup>10-12</sup>, también ha sido asociado con la remisión de casos con osteomielitis y bajo a moderado nivel de evidencia que promueve la sobrevida de colgajos en las lesiones<sup>8,11</sup>. El objetivo de nuestro trabajo es evaluar y optimizar la eficacia del tratamiento de las úlceras de pie diabético mediante la aplicación conjunta de OHB y colgajos surales de flujo reverso, aprovechando los mecanismos subyacentes de la OHB para mejorar la oxigenación del tejido y, por ende, la efectividad de los colgajos.

### Material y Métodos

Se llevó a cabo un estudio experimental, comparativo, longitudinal y prospectivo, en forma de ensayo clínico abierto. Se reclutaron 7 pacientes de diferentes servicios del Hospital Naval de Especialidades de Veracruz, a quienes se les

solicitó una consulta interdepartamental con los departamentos de Cirugía Plástica y Reconstructiva o Medicina Subacuática e Hiperbárica debido al diagnóstico de herida complicada secundaria al pie diabético.

Cada paciente fue sometido a una evaluación exhaustiva por los equipos de Medicina Interna y Cirugía Plástica y Reconstructiva, que incluyó la clasificación según la escala Wifi, la determinación del riesgo de amputación del miembro pélvico afectado y la necesidad de revascularización como procedimiento quirúrgico adicional. Además, se realizaron estudios de gabinete que abarcaron desde análisis sanguíneos convencionales hasta pruebas específicas, como biometría hemática, química sanguínea, electrolitos séricos completos, tiempos de coagulación, prueba de antígeno COVID-19, electrocardiograma, radiografía de tórax y ultrasonido Doppler arterial del miembro pélvico afectado.

Después de completar la evaluación de los estudios paraclínicos, se realizó una revisión conjunta con el equipo de Cirugía Plástica para determinar la viabilidad de aplicar un colgajo sural de flujo reverso. Se proporcionó información completa y precisa a cada paciente sobre el manejo propuesto, el protocolo de investigación y se obtuvo su consentimiento para participar en el proyecto, garantizando la claridad y objetividad en caso de preguntas o inquietudes por parte del paciente.

Una vez que se determinó que el paciente cumplía con los criterios de selección, en la Consulta Externa del Servicio de Medicina Subacuática e Hiperbárica se les realizó una encuesta que recopiló datos generales, antecedentes crónicos, años de diagnóstico de DM2, medicamentos, tabaquismo y amputaciones mayores. Durante la consulta, se proporcionó información y explicación sobre la terapia con OHB y el protocolo de investigación clínica, seguido de la explicación y firma de la Carta de Consentimiento Informado para la participación. Luego se llevó a cabo la exploración física para confirmar que cumplían con los criterios de selección y no presentaban contraindicaciones para el tratamiento con OHB.

Los pacientes fueron asignados aleatoriamente a los grupos "A" y "B" utilizando una tabla de números aleatorios generada por el programa Epi-dat 3.1 para recibir la intervención experimental o el control. El protocolo de oxigenoterapia hiperbárica aplicado para el grupo "A" consistió en un total de 20 sesiones, seis días a la semana (lunes a sábado), durante 60 minutos, respirando oxígeno al 100%, a una presión de 2.4 ata (244.14 kPa). Después de completar la vigésima sesión, se procedió a solicitar una nueva serie de estudios de laboratorio, junto con las respectivas indicaciones para que los pacientes acudieran a realizar estos análisis en un plazo de 72 horas tras concluir el protocolo. A todos los pacientes se les aplicaron colgajos surales de flujo reverso bajo anestesia general

o regional, en decúbito prono y con isquemia no exanguinante siguiendo la técnica descrita en 2019 por Suero-de la Cruz y cols. Esta técnica quirúrgica involucró el marcado de la región entre el maleolo lateral y el borde lateral del tendón de Aquiles hasta la línea media entre los músculos gastrocnemios y el diseño de una isla de piel de acuerdo con el tamaño del defecto, sin superar 1 cm por encima de la unión del tercio medio proximal de la pierna<sup>13</sup>. El procedimiento también incluyó la disección, sección y ligadura de la vena safena menor, que se incluiría en el colgajo, así como la disección del pedículo que contenía el nervio y la arteria sural superficial entre los vientres de los gastrocnemios, que fue seccionado y ligado en bloque. La disección en plano subfacial en la isla de piel, la disección de los bordes de la línea axial del colgajo en plano subcutáneo y el mantenimiento del tejido areolar que recubría la safena menor también formaron parte del procedimiento. Se midió el pedículo adiposo suprafacial al 100% del ancho de la isla de piel. Finalmente, el colgajo fue rotado para mantener la comunicación con el área receptora, mientras que el área donante se cerró de forma primaria. Ambos grupos de pacientes fueron monitoreados para evaluar la supervivencia de los colgajos surales de flujo reverso mediante indicadores clínicos, como la inspección directa de las condiciones de los tejidos, que incluían coloración, temperatura, presencia de necrosis y clasificación con la escala Wifi.

Además, se realizaron ultrasonografías Doppler para identificar el estado de perfusión tisular. Este estudio recibió la aprobación del Comité Institucional de Bioética del Hospital Naval de Especialidades de Veracruz con la aprobación número 04/22 y se llevó a cabo de acuerdo con los principios descritos en la Declaración de Helsinki. Todos los participantes proporcionaron su consentimiento informado por escrito antes de participar en el estudio. Las Escalas de Wound, Ischemia and foot Infection (WIFI), el índice tobillo-brazo y los valores de Doppler se analizaron utilizando la prueba de reacciones extremas de Moses que contrasta las hipótesis de que los valores extremos son igualmente probables en ambos grupos frente a la hipótesis de que los valores extremos son distintos en ambos grupos.

## Resultados

### 1. Características de los grupos que participaron en el protocolo de estudio.

Las características se centran en la comparación entre grupos: el Grupo A, recibió tratamiento con OHB y colgajo sural, mientras que el Grupo B, solo recibió cirugía de colgajo sural sin OHB. El Grupo A, compuesto por 4 pacientes, está formado por 3 hombres y 1 mujer, con un promedio de edad de 64.25 años. Estos pacientes fueron sometidos a un protocolo experimental que incluyó terapia hiperbárica de 20 sesio-

nes por individuo con una duración de 60 minutos diarios, con una presión de 2.4 ATAS, junto con la aplicación del colgajo sural. Por otro lado, el Grupo B, con 3 pacientes, consta de 2 mujeres y 1 hombre, con un promedio de edad de 62.33 años. Estos pacientes fueron sometidos únicamente a la cirugía de colgajo sural sin OHB adicional. Este grupo sirve como control, permitiendo la comparación de los efectos de la terapia combinada (Grupo A) con la efectividad de la cirugía de colgajo sural por sí sola en términos de cicatrización y mejora en la perfusión tisular en lesiones asociadas con la diabetes.

### 2. Interpretación de los parámetros de Wifi y Doppler al analizar las respuestas al tratamiento con y sin oxígeno hiperbárico: Consideraciones sobre el flujo sanguíneo y la vascularización en lesiones del pie diabético.

La clasificación Wifi-utilizada para evaluar la perfusión sanguínea y la oxigenación tisular. Se observaron valores más extremos en el grupo A en comparación con el grupo B cuando se compararon las escalas de WIFI intermedia ( $p < 0.001$ ); y sus componentes: Herida, wifi Inicial, intermedia y final ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.001$  y  $p < 0.001$ , respectivamente), Isquemia, Wifi intermedia y final ( $p < 0.001$  y  $p < 0.001$ , respectivamente); e Infección, wifi Inicial, intermedia y final ( $p < 0.001$ ,  $p < 0.001$  y  $p < 0.001$ , respectivamente). Adicionalmente se compararon los valores del (Índice Tobillo-Brazo) inicial y final

( $p < 0.001$  y  $p < 0.001$ , respectivamente) como se especifica en el cuadro 1. Estos hallazgos permiten resaltar la efectividad diferencial de los tratamientos aplicados en la mejora de la perfusión tisular y la cicatrización de las lesiones en el grupo A.

**Cuadro 1.** Comparación de escala WiFi entre grupos tratados con terapia hiperbárica y colgajos surales vs. grupos de control sin terapia hiperbárica. WIFI: Escalas de Wound, Ischemia and foot Infection por sus siglas en inglés, ITB: Índice Tobillo-Brazo)

ESCALA	INICIAL	INTERMEDIO	FINAL
Wifi	NS	$p < 0.001$	NS
<b>COMPONENTES</b>			
Herida	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Isquemia	NS	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Infección	$p < 0.001$	$p < 0.001$	$p < 0.001$
ITB	$p < 0.001$	NS	$p < 0.001$

Por otro lado, el Doppler es una técnica de diagnóstico por imágenes que evalúa el flujo sanguíneo en los vasos sanguíneos, utilizando ondas sonoras para medir la velocidad y dirección del flujo de la sangre. La evaluación del flujo sanguíneo mediante el Doppler fue altamente significativa en los grupos A comparado con el grupo B destacando diferencias notables en la dinámica circulatoria entre ambas cohortes. Los resultados muestran valores más extremos en el grupo A, tanto el Doppler arterial permeable inicial y final ( $p < 0.001$  y  $p < 0.001$ , respectivamente); los valores del Doppler arterial resistencia inicial y final ( $p < 0.001$  y  $p < 0.001$ , respectivamente) y Doppler arterial de pulsabilidad inicial

y final ( $p < 0.001$  y  $p < 0.001$ , respectivamente) como se detalla en el cuadro 2. Estas observaciones sugieren que existe una variación significativa en las características hemodinámicas entre los grupos estudiados.

**Cuadro 2.** Comparación de escala Doppler entre grupos tratados con terapia hiperbárica y colgajos surales vs. grupos de control sin terapia hiperbárica

ESTUDIO	INICIAL	FINAL
Doppler arterial permeable	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Doppler arterial resistencia	$p < 0.001$	$p < 0.001$
Doppler arterial pulsabilidad	$p < 0.001$	$p < 0.001$

### 3. Heridas crónicas de los pacientes con pie diabético: Características clínicas y tratamiento con colgajos surales y terapia hiperbárica.

La gestión de heridas crónicas en pacientes con pie diabético representa un desafío significativo en la práctica clínica. En este estudio, se exploran dos casos clínicos con heridas en la región del talón y el plantar del pie derecho e izquierdo, respectivamente. Se examinaron las características iniciales, los resultados postquirúrgicos y la evolución final de las heridas para entender mejor la eficacia de la intervención en cada grupo.

**Caso Clínico Grupo A:**

WiFi Inicia 3-1-2: El paciente del Grupo A presentó una herida localizada en zona dorso plantar medio lateral del pie derecho, dimensiones de 7 cm ancho x 20 cm largo x 1 cm de profundidad. Bordes irregulares, levemente macerados, infección local de tejidos blandos, exudado seroso no fétido. Lecho con presencia de tejido desvitalizado y esfacelo en un 80%. Las mediciones Doppler indicaron una perfusión arterial comprometida (ITB (I): 0.6, Doppler Art. (IR): 0.5, Doppler Art. (IP): 1), (Fig. 1A).

WiFi PostQxl 0-2-0: Presencia de colgajo sural de flujo reverso en zona dorso plantar medio lateral del pie derecho, dimensiones de 12 cm ancho x 25 cm largo. Normo térmico, 30% de necrosis, bordes quirúrgicos regulares bien afrontados, leve exudado seroso no fétido, llenado capilar 3 segundos. Revascularización exitosa (ITB (IN): 0.5), (Fig. 1A).

WiFi Final 0-0-0: Sin presencia de herida sólo cicatriz residual del proceso de epitelización en bordes los cuales son irregulares e hiperpigmentados, llenado capilar 2 segundos. La perfusión arterial mejoró (ITB (F): 0.8, Doppler Art. (IR): 0.5, Doppler Art. (IP): 1.3), (Fig. 1A).

**Caso Clínico Grupo B:**

WiFi Inicia 3-0-0: El paciente del Grupo B presentó una herida localizada en la zona plantar-talón izquierdo de dimensiones 7 ancho x 5 largo x 2 profundo cm. La herida mostraba bordes regulares, sin infección, un lecho con tejido

granular y graso al 100% con exudado seroso no fétido. La perfusión arterial estaba conservada (ITB (I): 0.9, Doppler Art. (IR): 0.7, Doppler Art. (IP): 1.3), (Fig. 1B).

WiFi PostQxl 0-2-0: Se observó la presencia de un colgajo sural de flujo reverso en la zona plantar-talón izquierdo, con una herida resultante de 12 ancho x 15 largo cm. A pesar de un 90% de necrosis, los bordes quirúrgicos permanecieron afrontados y regulares. El exudado seroso no era fétido, y el llenado capilar se mantuvo en 3 segundos. Sin embargo, no se logró la revascularización (ITB (IN): 0.8), (Fig. 1B).

WiFi Final 1-0-0: La herida por destechamiento de colgajo sural evolucionó a 8 ancho x 10 largo cm con bordes regulares y un lecho de herida sin profundidad. El tejido granular era predominante al 100%, y el exudado seroso no era fétido, aunque escaso. La perfusión arterial continuó siendo subóptima (ITB (F): 0.8, Doppler Art. (IR): 0.8, Doppler Art. (IP): 1.5), (Fig. 1B).

Esta comparación detallada destaca las diferencias en la evolución de heridas crónicas entre los dos grupos. El Grupo A, con una intervención efectiva, mostró una mejora significativa en la cicatrización y la perfusión arterial, mientras que el Grupo B enfrentó desafíos persistentes de necrosis y compromiso vascular. Estos hallazgos resaltan la importancia de intervenciones tempranas y adaptadas a la condición del paciente en el manejo de heridas crónicas en miembros inferiores.

**Figura 1. Comparación de Resultados en Dos Casos de Heridas Crónicas en Miembros Inferiores.** En este estudio, se presenta una comparación detallada de dos casos clínicos (Grupo A y Grupo B) con **A)** heridas en zona dorso plantar medio lateral del pie derecho y **B)** la zona plantar-talón, respectivamente. OHB; terapia con oxígeno hiperbárico. OHB: terapia con oxígeno hiperbárico.



**Discusión**

Los resultados de la investigación en pacientes con diabetes y un alto riesgo de amputación indican que la utilización complementaria de OHB mejora la zona receptora para la colocación del colgajo sural de flujo reverso. Además, estimula

la formación de tejido de granulación, actuando como un apósito biológico, y reduce el riesgo de amputación según la clasificación Wifi.

Estos hallazgos adquieren relevancia al considerar que, a pesar de que los grupos aleatorios presentaban similitudes en la edad, el tiempo de



evolución y las condiciones óptimas para una intervención quirúrgica en la evaluación inicial; sin embargo, la naturaleza experimental del estudio y el reducido tamaño de la muestra conformada por pacientes voluntarios con un grave defecto en el pie debido a la diabetes limitan la generalización de los resultados. El tratamiento con OHB ha demostrado ser altamente efectivo en diversos ensayos clínicos para abordar el pie diabético, especialmente en casos de úlceras clasificadas como grado 3 y 4 según la clasificación de Wagner<sup>14</sup>. Resultados destacan una probabilidad de mejora en la cicatrización 11.6 veces mayor en comparación con los grupos de control<sup>15</sup>. Asimismo, se han llevado a cabo ensayos clínicos que evidencian una reducción significativa en las tasas de amputaciones mayores<sup>16</sup>. Estudios posteriores han resaltado los efectos beneficiosos en los aspectos metabólicos, celulares y tisulares, haciendo hincapié en mejoras en los procesos de reparación del tejido, la función mitocondrial y la estimulación de las defensas antioxidantes<sup>17</sup>.

Otro aspecto para resaltar, son sus efectos sobre la circulación y promoción de angiogénesis. Se ha reportado un incremento en la circulación sanguínea observado a través de mediciones con láser Doppler, con mejoría significativa en la microvasculatura del colgajo isquémico<sup>8,18-20</sup>. Estos efectos parecen ser favorecidos por la promoción de la liberación del factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF, por sus siglas en inglés) por el oxígeno hiperbárico<sup>8,21</sup>,

donde el VEGF promueve la angiogénesis, vasodilatación e incrementa la permeabilidad vascular, favoreciendo la recuperación de la isquemia presente en el colgajo<sup>8,21,22</sup>.

Cabe destacar, que se le atribuyen diversos beneficios a la terapia con oxígeno hiperbárico que pueden tratar las lesiones de isquemia-reperforación que se presentan en el manejo de las úlceras de pie diabético. Godman reporta que el oxígeno hiperbárico puede proteger a las células endoteliales del daño oxidativo presente en este tipo de lesiones a través de la promoción de genes relacionados con vías de antioxidantes, criopreservación<sup>8,23</sup>. También Gurer y cols. demuestran que el oxígeno hiperbárico reduce la peroxidación inducida por radicales libres<sup>24</sup>. Previamente se ha implementado el uso de terapia con oxígeno hiperbárico como estrategia para salvaguardar colgajos con compromiso isquémico. Larson y cols. reportan que de 15 pacientes recibieron OHB que presentaban colgajos fallidos o comprometidos, de los cuales 11 presentaron una favorable recuperación<sup>25</sup>.

Dos meta-análisis recientes destacan la eficacia del oxígeno hiperbárico en el tratamiento de úlceras en el pie diabético. Uno, con 20 ensayos clínicos y 1263 participantes, muestra que esta terapia aumenta la tasa de curación, reduce el tiempo de cicatrización y disminuye la necesidad de amputación<sup>10</sup>. El otro, que incluye 14 estudios, concluye que el oxígeno hiperbárico es efectivo para lograr la curación completa de las úlceras y reduce la incidencia de amputación<sup>12</sup>.

## Conclusión

La inclusión de 20 sesiones de OHB como tratamiento adyuvante ha demostrado mejorar significativamente el lecho receptor de las heridas en pacientes con pie diabético, optimizando la técnica quirúrgica empleada. Los resultados sugieren un beneficio potencial en términos de cicatrización y angiogénesis, respaldando así la aplicación de la OHB como parte integral de un enfoque basado en evidencia en el tratamiento de estas heridas complejas. Sin embargo, es fundamental reconocer que, a pesar de los avances evidentes, existe la necesidad de continuar con investigaciones clínicas robustas en el ámbito de la Medicina Hiperbárica.

## Referencias

1. Guariguata L, Whiting DR, Hambleton I, Beagley J, Linnenkamp U, Shaw JE. Global estimates of diabetes prevalence for 2013 and projections for 2035. *Diabetes Res Clin Pract.* 2014;103(2):137-49.
2. Lipsky BA, Berendt AR, Cornia PB, Pile JC, Peters EJ, Armstrong DG, Deery HG, Embil JM, Joseph WS, Karchmer AW, Pinzur MS, Senneville E; Infectious Diseases Society of America. 2012 Infectious Diseases Society of America clinical practice guideline for the diagnosis and treatment of diabetic foot infections. *Clin Infect Dis.* 2012;54(12):e132-73.
3. Wenhui L, Changgeng F, Lei X, Baozhong Y, Guobin L, Weijing F. Hyperbaric oxygen therapy for chronic diabetic foot ulcers: An overview of systematic reviews. *Diabetes Res Clin Pract.* 2021;176:108862.
4. Chen CY, Wu RW, Hsu MC, Hsieh CJ, Chou MC. Adjunctive Hyperbaric Oxygen Therapy for Healing of Chronic Diabetic Foot Ulcers: A Randomized Controlled Trial. *J Wound Ostomy Continence Nurs.* 2017;44(6):536-545.
5. ElSayed NA, Aleppo G, Aroda VR, Bannuru RR, Brown FM, Bruemmer D, Collins BS, Gibbons CH, Giurini JM, Hilliard ME, Isaacs D, Johnson EL, Kahan S, Khunti K, Leon J, Lyons SK, Perry ML, Prahalad P, Pratley RE, Seley JJ, Stanton RC, Sun JK, Gabbay RA, on behalf of the American Diabetes Association. 12. Retinopathy, Neuropathy, and Foot Care: Standards of Care in Diabetes-2023. *Diabetes Care.* 2023;46(Suppl 1):S203-S215.
6. Oliver TI, Mutluoglu M. *Diabetic Foot Ulcer.* StatPearls. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023.
7. Mills JL, Conte MS, Armstrong DG, et al. The Society for Vascular Surgery Lower Extremity Threatened Limb Classification System: Risk stratification based on Wound, Ischemia, and foot Infection (WIfI). *J Vasc Surg.* 2014;59(1):220034.e1-2.
8. Zheng YH, Yin LQ, Xu HK, Gong X. Non-invasive physical therapy as salvage measure for ischemic skin flap: A literature review. *World J Clin Cases.* 2021;9(14):3227-3237.
9. Yammine K, Eric M, Nasser J, Chahine A. Effectiveness of the Reverse Sural Flap in Covering Diabetic Foot Ulcers: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Plast Surg (Oakv).* 2022;30(4):368-377.
10. Zhang Z, Zhang W, Xu Y, Liu D. Efficacy of hyperbaric oxygen therapy for diabetic foot ulcers: An updated systematic review and meta-analysis. *Asian J Surg.* 2022;45(1):68-78.

11. Goldman RJ. Hyperbaric oxygen therapy for wound healing and limb salvage: a systematic review. *PM R*. 2009;1(5):471-89.
12. Sharma R, Sharma SK, Mudgal SK, Jelly P, Thakur K. Efficacy of hyperbaric oxygen therapy for diabetic foot ulcer, a systematic review and meta-analysis of controlled clinical trials. *Sci Rep*. 2021;11(1):2189.
13. Suero-de la Cruz JC, Pacheco-López CR, Vázquez-Morales HL, Hernández-Ordóñez R, Fernández-Riera R. Modificación de técnica de colgajo sural de flujo reverso: pedículo de amplitud total de la isla cutánea. *Cir plast ibero-latinoam*. 2019; 45 (4): 377-386.
14. Perren S, Gatt A, Papanas N, Formosa C. Hyperbaric Oxygen Therapy in Ischaemic Foot Ulcers in Type 2 Diabetes: A Clinical Trial. *Open Cardiovasc Med J*. 2018;12:80-85.
15. Thom SR. Hyperbaric oxygen: its mechanisms and efficacy. *Plast Reconstr Surg*. 2011;127 Suppl 1(Suppl 1):131S-141S.
16. Löndahl M. Hyperbaric oxygen therapy as adjunctive treatment for diabetic foot ulcers. *Int J Low Extrem Wounds*. 2013;12(2):152-7.
17. Harrison LE, Giardina C, Hightower LE, Anderson C, Perdrizet GA. Might hyperbaric oxygen therapy (HBOT) reduce renal injury in diabetic people with diabetes mellitus? From preclinical models to human metabolomics. *Cell Stress Chaperones*. 2018;23(6):1143-1152.
18. Zamboni WA, Roth AC, Russell RC, Nemiroff PM, Casas L, Smoot EC. The effect of acute hyperbaric oxygen therapy on axial pattern skin flap survival when administered during and after total ischemia. *J Reconstr Microsurg*. 1989;5(4):343-7; discussion 349-50.
19. Zamboni WA, Roth AC, Russell RC, Smoot EC. The effect of hyperbaric oxygen on reperfusion of ischemic axial skin flaps: a laser Doppler analysis. *Ann Plast Surg*. 1992;28(4):339-41.
20. Ulkür E, Yüksel F, Açikel C, Celiköz B. Effect of hyperbaric oxygen on pedicle flaps with compromised circulation. *Microsurgery*. 2002;22(1):16-20.
21. Sheikh AY, Gibson JJ, Rollins MD, Hopf HW, Hussain Z, Hunt TK. Effect of hyperoxia on vascular endothelial growth factor levels in a wound model. *Arch Surg*. 2000;135(11):1293-7.
22. Hood JD, Meininger CJ, Ziche M, Granger HJ. VEGF upregulates ecNOS message, protein, and NO production in human endothelial cells. *Am J Physiol*. 1998;274(3):H1054-8.
23. Godman CA, Joshi R, Giardina C, Perdrizet G, Hightower LE. Hyperbaric oxygen treatment induces antioxidant gene expression. *Ann N Y Acad Sci*. 2010;1197:178-83.
24. Gurer A, Ozdogan M, Gomceli I, Demirag A, Gulbahar O, Arikok T, Kulacoglu H, Dundar K, Ozlem N. Hyperbaric oxygenation attenuates renal ischemia-reperfusion injury in rats. *Transplant Proc*. 2006;38(10):3337-40.
25. Larson JV, Steensma EA, Flikkema RM, Norman EM. The application of hyperbaric oxygen therapy in the management of compromised flaps. *Undersea Hyperb Med*. 2013;40(6):499-504.