

Oxigenación hiperbárica como proceso complementario en la regeneración de la piel en quemadura térmica utilizando hiperoxia con vasoconstricción

Jorge-Elías Rivadeneira
 jerivadeneira@utn.edu.ec
 Universidad Técnica del Norte

Elmer Meneses-Salazar
 eomeneses@utn.edu.ec
 Universidad Técnica del Norte

Vicente Yandún-Yalamá
 svyandun@utn.edu.ec
 Universidad Técnica del Norte

Andrea Poleth López Castillo
 aplopezc@utn.edu.ec
 Universidad Técnica del Norte

Pablo Buitrón-Jácome
 pablo.buitron@centrocicei.edu.ec
 Centro de Capacitación Internacional y
 Consultoría Educativa

Recepción Sep. 01, 2022

Aceptación Nov. 30, 2022

RESUMEN

Con la Oxigenoterapia Hiperbárica (OHB) se mantiene elevado el oxígeno en los tejidos y en el músculo por más de cuatro horas, aumentando la tensión de oxígeno en los fluidos corporales; mejorando la microcirculación, la actividad fagocítica de los glóbulos blancos; disminuyendo la agregación plaquetaria, la sobrecarga cardíaca; es bacteriostático bactericida y antifúngico, entre otras acciones. El Paciente ha ingresado a Tratamiento de Oxigenación Hiperbárica para tratar quemadura térmica en el 70% del pecho causada por agua hirviendo con quemaduras de 1° y 2° grado en una persona. El objetivo de la investigación fue cicatrizar la herida por quemadura térmica usando hiperoxia con vasoconstricción. El tipo de investigación fue experimental con diseño Preexperimental. El enfoque de investigación que se usó fue mixto, ya que se realizaron 6 sesiones en cámara hiperbárica combinando productos tópicos y apósitos en un paciente; las técnicas utilizadas son: la observación y entrevista; instrumentos: cámara hiperbárica, oxímetro e historia clínica. Se logró hiperoxia con vasoconstricción y efecto Robin Hood en el periodo de seis semanas acelerando la velocidad de cicatrización del tejido dérmico. El TOHB acelera la cicatrización y proliferación de células regeneradoras de tejidos epidérmicos con quemadura térmica.

Palabras clave: Oxigenación hiperbárica, cicatrización, revitalización, isquemia, hipoxia, quemadura térmica.

Hyperbaric Oxygenation as a Complementary Process in the Regeneration Of Skin In Thermal Burn Using Hyperoxia with Vasoconstriction

ABSTRACT

Hyperbaric Oxygen Therapy (HBO) maintains elevated oxygen in tissues and muscle for more than four hours, increasing oxygen tension in body fluids; improving microcirculation, phagocytic activity of white blood cells; decreasing platelet aggregation, cardiac overload; it is bacteriostatic, bactericidal and antifungal, among other actions. The Patient has been admitted to Hyperbaric Oxygenation Treatment to treat thermal burn in 70% of the chest caused by boiling water with 1st and 2nd degree burns in a person. The aim of the research was to heal the thermal burn wound using hyperoxia with vasoconstriction. The type of research was experimental with Preexperimental design. The research approach used was mixed, since 6 sessions were performed in hyperbaric chamber combining topical products and dressings in a patient; the techniques used are: observation and interview; instruments: hyperbaric chamber, oximeter and clinical history. Hyperoxia with vasoconstriction and Robin Hood effect was achieved in the period of six weeks accelerating the speed of healing of the dermal tissue. HBOT accelerates healing and proliferation of regenerating cells of epidermal tissues with thermal burns.

Keywords: Hyperbaric oxygenation, healing, revitalization, ischemia, hypoxia, thermal burn.

INTRODUCCIÓN

La oxigenoterapia hiperbárica es un tratamiento no invasivo en el cual se respira oxígeno puro al 98% dentro de un habitáculo hermético que puede subir a 3 Atmosferas Totales (ATA) (Chen et al., 2018; Crumbaugh & Maholick, 2011; Garone et al., n.d.; Smolle et al., 2021). Los cambios de presión dentro de la cámara permiten transportar el oxígeno disuelto en plasma sanguíneo por todo el organismo, acortando el tiempo de recuperación en el paciente que ha sufrido lesiones por quemaduras térmicas (Roth & Weiss, 2012; Smolle et al., 2021) donde se produce una deficiencia de oxígeno en las células y tejidos (Berner et al., 2014).

El proceso de cicatrización de una herida térmica toma tiempo ya que depende de la profundidad, esto puede tomar 3 semanas (Stone et al., 2018) sin considerar variables externas que pueden empeorar la herida. La cicatrización de la quemadura tiene tres fases: inflamación, reepitelización y resolución (Stevens & Page-McCaw, 2012). Al aumentar la presión parcial de oxígeno en los tejidos, facilita su transporte por todo el organismo (Wasiak et al., 2006), estimula la síntesis de colágeno (Alyafi et al., 2021), la producción de fibroblastos (Doria et al., 2018) y la neoformación vascular (Duque Ramírez & Diab

Forero, 2020), consiguiendo una rápida cicatrización, en la lesión que existe hipoxia e isquemia debido a la tensión del oxígeno (Marín et al., 2020). Las plaquetas son las primeras en llegar a la parte afectada, y posteriormente aparecen los macrófagos y los fibroblastos (Oley et al., 2021). Todos estos componentes celulares son los encargados de organizar y producir las citoquinas; que son unas proteínas mediadoras esenciales en los procesos de curación; generando un aumento de la síntesis del colágeno y la angiogénesis, dando paso a la manifestación del tejido granular, el cual logra finalmente que la lesión cicatrice. Mejora el metabolismo a nivel celular, ayuda a minimizar el edema, acorta los tiempos de cicatrización y revitalización de la dermis, se evidencia menor índice de infección, reduce la incidencia de sepsis, aumenta la vascularización y estimula la inmunidad (Cannellotto et al., 2018).

La Oxigenoterapia Hiperbárica (OHB), demostrando que utilizando ambientes especiales es posible mantener un medio interno equilibrado, permitiendo que la Universidad Técnica del Norte (UTN) presente un plan piloto para todo en norte del País, en el que con OHB se reduzcan los efectos de la hipoxia como: las amputaciones por pie diabético, aumento de la velocidad de cicatrización del hueso, mejora el rendimiento deportivo, esclerosis múltiple, artritis reumatoide, gangrena gaseosa, osteomielitis, cicatrización, intoxicaciones por CO₂, síndrome compartimental, infarto de miocardio, etc., disminuyendo los costos de uso hospitalario y médico por la expedita recuperación del paciente.

Con la OHB se aplican las leyes de Boyle Mariotte, Dalton, Henry, etc., produciendo difusión de O₂ hiperbárico en aumento de Presiones Atmosféricas Totales (ATA) (Lindenmann et al., 2021), disminuyendo el tiempo de cicatrización, aumentando el ATP y el O₂ tisular por difusión simple actuando sobre la glándula pineal en la regeneración muscular (Tiidus, 2015) debido a la producción de mel-

atonina, por lo tanto, en la regeneración de los tejidos en sufrimiento provoca estimulación de las enzimas: Superoxidodismutasa, Glutación y Catalasa (Sun et al., 1988) bajo presiones atmosféricas (Sureda et al., 2009).

La OHB es una de las defensas más importantes frente al estrés oxidativo y radicales libres (Yildirim et al., 2000), en la epidermis es clave en la producción de fibroblastos (células que construyen la piel), es antiinflamatoria (Wu et al., 2021), neutraliza los radicales libres, que provocan las arrugas y el envejecimiento, ayuda a usar el Zinc, Cobre y Magnesio, la Mn-SOD (Manganeso Superoxidismutasa), protege a la mitocondria del daño de los radicales libres, estimula el centro de la memoria, es bacteriostático y también es bactericida (Alyafi et al., 2021; Oley et al., 2022).

La aplicación de factores de crecimiento de cuarta generación limita los desgarros, contracturas y lesiones, como medidas preventivas y apoyando en el tratamiento curativo (Hopf et al., 2001) constituyéndose en una medicina moderna con protocolos innovadores.

Con OHB se activa la circulación sanguínea, mejora la microcirculación y el transporte de oxígeno a los tejidos (NISA et al., 2022), aumentando el suministro de energía en el área de trabajo incluso en condiciones de hipotermia (Alin et al., 2009).

El O₂ disminuye los ácidos grasos insaturados de los glóbulos rojos, aumentando su elasticidad y capacidad de la HB (hemoglobina) (Van Meter, 2012) para ceder más O₂ a los tejidos periféricos aumentando la oxigenación celular (hiperoxia).

El uso de OHB en quemaduras se basó en un hallazgo fortuito. En 1965, Japón, de acuerdo a Wada e Ikeda, citado por Smolle et al., (2021) ocurrió una explosión dentro de un campo minero, esto ocasionó que un grupo de mineros de carbón sufran quemaduras graves de segundo grado por CO (Monóxido de Carbono). El tratamiento fue completamente satisfactorio en los mineros en comparación de otras perso-

nas que fueron sanando sin OHB. Con este antecedente se han realizado una serie de investigaciones basados en ensayos experimentales y clínicos, así como revisiones sistemáticas (Cianci et al., 1989; Evans & Baldwin, 1997; Kindwall et al., 1991; Villanueva et al., 2004; Wasiak et al., 2006b; Weitgasser et al., 2019). Al llevar a cabo una revisión sobre la aplicación de OHB en quemaduras, se encontró otras investigaciones que tienen factores en común con este estudio como las características de lesiones, extensión, profundidad, así como duración de sesión, número total de sesiones y presiones usadas en el tratamiento (Mathieu et al., 2017; Rogatsky et al., 2013).

Los beneficios de respirar gases en ambientes especiales son amplios, puesto que aumenta la capacidad transportadora de oxígeno de la sangre al músculo en los tejidos afectados (Tiidus, 2015), mejora el sistema inmunitario (Cannellotto et al., 2018), activa aún más la circulación sanguínea mejorando la microcirculación (NISA et al., 2022), disminuye los niveles de colesterol y ácido úrico, aumenta el suministro de energía en áreas inflamadas, tiene efecto antiinflamatorio, lo que hace que disminuya el dolor (Yildirim et al., 2000), potencia el desarrollo de la vitamina D, es bacteriostático y bactericida (Alyafi et al., 2021), disminuye los ácidos grasos insaturados del GR aumentando su elasticidad (Van Meter, 2012). Usando OHB se obtienen resultados positivos manteniendo su homeostasia.

Por último, “se puede destacar que la ayuda que provee la OHB, específicamente en quemaduras térmicas, es producir hiperoxia con vasoconstricción, disminuyendo el edema y evitándose la extravasación de líquido desde los capilares”, así lo manifiesta, (Doria, E. et al. 2019).

Sin embargo, es importante mencionar que la OHB no puede considerarse una opción terapéutica ausente de complicaciones, pero si se ponen en práctica las medidas de seguridad, estas se reducen. Según (Luna, 2010) los efectos adversos

por OHB son raros de encontrar pero han sido reportados, entre ellos podemos encontrar: dolor de oídos (2-4%), senos paranasales (menos del 2%) y pulmones o incidencia de neumotórax (menos de 1 en un millón de tratamientos). Algunos pacientes reportan incremento de la miopía en un (10%), pero reversible al suspender el tratamiento, también se encuentre el antecedente de convulsiones por irritación cortical secundaria a la hiperoxia en un (0,03%). Para finalizar, la claustrofobia, más que una complicación, puede llegar a ser una contraindicación relativa mientras se recibe el tratamiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Tipo de investigación

La presente investigación usó un enfoque mixto porque se realizó un análisis de caso describiendo un estado inicial, desarrollo y final de las transformaciones dermo-epidérmicas. El tipo de investigación que se aplicó fue Experimental y su ejecución se realizó dentro de la Unidad Hiperbárica de Investigación Científica “Miguel Naranjo Toro” de la Universidad Técnica del Norte debido a que existió manipulación de una variable, se implementó un diseño preexperimental (Hernández Sampieri et al., 2014) porque se llevó a cabo el tratamiento con OHB sobre la variable quemadura de segundo grado y el control de la cicatrización realizado sobre la quemadura observable. Así mismo se usó el tipo de investigación descriptivo por lo que sigue la lógica de aplicar el tratamiento al principio y al final se describen los resultados obtenidos de cada sesión, que en este caso es el efecto de la OHB sobre la quemadura térmica.

MÉTODOS, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

El protocolo, técnica o método a utilizar de OHB variará de acuerdo a la extensión, profundidad de la lesión y el compromiso sistémico del paciente, no obstante, a

continuación, se dará a conocer las técnicas que se consideraron pertinentes para el paciente con una quemadura térmica de 1° y 2° grado, en el 70% de su pecho.

Las técnicas empleadas fueron: observación y entrevista. La observación se dio mediante la cámara hiperbárica Leaderlife de acero 2017 monoplaza rígida para aplicar presiones atmosféricas totales (ATA), oxímetro que se usó para medir saturación de oxígeno y pulso cardíaco. Para la entrevista se usó la historia clínica para recopilar antecedentes y estado actual de salud del paciente.

Este estudio tuvo presente consideraciones éticas para investigación científica médica en seres humanos como un eje transversal durante todo el proceso, puesto que la participación del paciente debe ser voluntaria (Benítez Hernández, s.f.).

Fase 1 – Inflamación

Como primera acción fue la atención médica urgente, se aplicó el protocolo para quemaduras de segundo grado que consistió en limpieza con compresas frías sin hielo y gasa estéril, lavado y cuidado en destruir o romper las ampollas para evitar la infección, uso de sulfadiazina de plata (agentafil). Se recomendó exámenes complementarios como: biometría hemática, coproparasitario y urológico, se valoró el grado de deshidratación, y la reacción de los sistemas de homeostasia ante la injuria. Se colocó una dosis de suero fisiológico de 200cc más una mega dosis de vitamina C. Las recomendaciones para el cuidado de la quemadura térmica fue limpieza frecuente (3 veces al día). Posterior a la aplicación del protocolo médico el paciente fue ingresado a cámara hiperbárica en el que se aplicó 1,3 ATA con una duración de 50 minutos para atender la fase de inflamación de la quemadura en las dos primeras sesiones.

Figura 1

Imagen previa al ingreso de primera sesión con OHB (20 de febrero de 2020).



Nota: Se puede observar la fase de inflamación en la herida.

Figura 2

Imagen de evolución posterior a segunda sesión de OHB (21 de febrero de 2020).



Nota: La fase de inflamación ha disminuido considerablemente.

Fase 2 – Reepitelización

El paciente ingresó a cámara hiperbárica para continuar el tratamiento según cronograma establecido, en estas sesiones se evidenció reepitelización de la zona de

quemadura. Se aplicó 1,4 ATA durante 50 minutos en la tercera y cuarta sesión.

Figura 3

Imagen de evolución posterior a cuarta sesión de OHB (25 de febrero de 2020).



Nota: En esta sesión se observa la reepitelización.

Fase 3 – Resolución

En la última fase se evidenció el fin de la revascularización, reepitelización, así como la reorganización del colágeno sobre

la injuria. Se aplicó 1,5 ATA durante 50 minutos en cada sesión.

Figura 4

Imagen de evolución posterior a cuarta sesión de OHB (25 de febrero de 2020).



Nota: Paciente no presenta inflamación y ha logrado la reepitelización.

Figura 5

Imagen de evolución posterior a quinta sesión de OHB (27 de febrero de 2020).



Nota: El tejido se ha reepitelizado.

Figura 6

Imagen de evolución posterior a la sexta sesión de OHB (28 de febrero de 2020).



Nota: Cicatrización de herida lograda.

Participantes

Para la aplicación se consideró el siguiente cronograma.

Tabla 1
Cronograma de atención y aplicación de OHB.

Fase	Actividad	Fecha
1	Consentimiento informado.	20 de febrero de 2020
	Examen médico inicial para determinar el estado de ingreso del paciente a la cámara.	
	Limpieza de herida con gasa furacinada de forma suave con agua, evitando romper ampollas. Colocando ungüento de sulfadiazina de plata (agentafil).	
	Solicitud de exámenes complementarios.	
	Colocación de suero fisiológico 200cc más una mega dosis de vitamina C (1 gramo).	
	Recomendaciones para su atención en casa: limpieza de quemadura dos veces al día y tabletas de umbral de 300mg cada 12 horas.	
	TOHB – sesiones de 1 y 2	20 y 21 febrero 2020
2	TOHB – sesiones de 3 y 4	24 y 25 febrero 2020
3	TOHB – sesiones de 5 y 6	27 y 28 febrero 2020
	Alta del paciente	28 febrero de 2020

Nota: Esta tabla muestra en síntesis la atención y aplicación de OHB con sus respectivas fechas.

La población fue no probabilística y la muestra de tipo intencional porque se seleccionó al paciente debido a que cumplió con el diagnóstico requerido para la aplicación de este estudio que fue presentar la sintomatología de una quemadura segundo grado. El paciente al que fue administrado OHB tuvo 17 años en el momento, de género masculino, llegó con su madre para atención médica a la Unidad Hiperbárica de Investigación Científica “Miguel Naranjo Toro” de la Universidad Técnica del Norte en horas de la noche con quemadura térmica de segundo grado causado por derramamiento de agua hirviendo en el 70% del tórax. La quemadura de segundo grado afectó a la dermis y epidermis. El paciente presentó dolor intenso, se observaron ampollas, quemadura con patrón irregular, enrojecimiento piel

mojada y húmeda, quemazón, inflamación severa y piel manchada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Paciente ingresó a OHB en la fase inflamatoria de la quemadura térmica, por lo que en la primera sesión se contribuyó a acelerar la homeostasia en la herida mediante vasoconstricción y coagulación, por lo que se detuvo el sangrado para iniciar la siguiente fase de cicatrización.

En la fase de reepitelización se alcanzó entre la segunda y cuarta sesión de OHB, en el que se produjo tres procesos relacionados: la granulación, aceleración y contracción. La granulación de la herida se dio por la producción de angiogénesis que provienen exclusivamente de los macrófagos y fibroblastos. La aceleración de reepi-

telización fue mediada por los queratinocitos, dichas células tuvieron la función de regenerar una barrera contra la infección y pérdida hidroelectrolítica, estimulando la regeneración de la dermis a través de plasmina ocurrida desde los bordes de la herida. La contracción de la quemadura se medió por los miofibroblastos que mejora la capacidad contráctil de los bordes de la herida encogiéndola a partir de los bordes, en consecuencia, al finalizar esta fase termina la inflamación y los tejidos poseen fuerza tensil. Alcanzar esta etapa sin OHB tarda 14 días aproximadamente, pero el paciente lo alcanzó al finalizar la cuarta sesión de OHB.

La fase de resolución puede durar hasta dos años, sin embargo, con OHB se logró al finalizar en la sexta sesión, esto quiere decir que la síntesis y distribución de colágeno en la herida se aceleró, lo que hace que aumente la cantidad de fibroblastos.

Al finalizar cada sesión se OHB se observó que la saturación aumentó entre 97-99 en relación con los valores normales que se encuentran entre 90-92, esto demuestra el nivel de absorción del oxígeno en la sangre. Mientras que los latidos por minuto se encontraron entre los valores normales 80-70.

Se demostró que la respiración de oxígeno en ambientes hiperbáricos de 1,3 a 1,5 ATA permite respirar el 98% del oxígeno (Chen et al., 2018; Smolle et al., 2021) y gracias a este ambiente hiperbárico se aplican las leyes de Boyle y Mariotte, Henry y Dalton sobre el cuerpo humano para experimentar sus beneficios descritos en muchos estudios realizados de OHB.

En condiciones normobáricas la cicatrización de quemaduras térmicas puede durar un periodo máximo de dos años. La etapa inflamatoria consiste en la ejecución de la homeostasia del organismo para equilibrar la cantidad de plaquetas en la herida atrayendo células polimorfonucleares y macrófagos, mismos que inician la inflamación y limpieza de esta, esto hace que se detenga el sangrado para que

se produzca la vasodilatación para abastecer de neutrófilos, monocitos y linfocitos en la herida. Mientras que la fase de reepitelización se produciría en 14 días, esto incluye la granulación y reepitelización de la herida. Por último, la fase de resolución podría durar hasta dos años, puesto que aquí se produce la síntesis y distribución de colágeno en la herida. Pero en condiciones hiperbáricas este tiempo se disminuyó a una semana (6 días), por lo tanto, la OHB permite acelerar la producción de macrófagos y fibroblastos, mismos que dan paso a la angiogénesis para posteriormente darse la reepitelización y resolución de la herida.

La OHB ha demostrado reducir los mediadores de inflamación, entre ellos los que interviene en la génesis del dolor. También, se pudo observar que la OHB potencia la cicatrización de la lesión, como a su vez, promueve la revitalización de la dermis y epidermis. Todo lo ya mencionado, condujo a un menor tiempo de internación y una rápida recuperación del paciente.

CONCLUSIONES

Se puede afirmar que la OHB es una técnica segura, fácil de administrar, con tasas de efectividad que la podrían convertir en una técnica estándar en las complicaciones de quemaduras de segundo grado, puesto que aumenta la capacidad de la HB para ceder oxígeno a los tejidos periféricos, los cuales producen macrófagos y fibroblastos en los tejidos en sufrimiento, facilitando la síntesis de colágeno para cicatrizar la herida.

La OHB aumenta la cantidad de oxígeno en el plasma, causando que las fases del proceso de cicatrización de la herida por quemadura se aceleren de forma exponencial permitiendo dos cosas fundamentales: 1) disminución de la inflamación de la herida ayudando a minimizar el edema y, 2) promueve neovascularización del organismo favoreciendo la revitalización de la dermis y por lo tanto la cicatrización de

la herida por quemadura térmica de segundo grado. La OHB en quemaduras de primer y segundo grado puede ser parte de un plan de tratamiento integral diseñado para satisfacer la necesidad individual del paciente.

REFERENCIAS

- Alin, S., Stefan, L., Simona, N., Alexandra, P., Diethelm, T., & Werner, A. S. (2009). Functional changes in microcirculation during hyperbaric and normobaric oxygen therapy. *Undersea & Hyperbaric Medicine: Journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc*, 36(5), 381–390. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20112529/>
- Alyafi, T., Al-Marzouki, A.-H. H., & Al Hassani, A. N. (2021). Therapeutic Outcome of Burn Patients Treated With Hyperbaric Oxygen. *Cureus*, 2016(10), 1–10. <https://doi.org/10.7759/cureus.18671>
- Benítez Hernández, I. (n.d.). *Ética de la investigación científico-médica desde la perspectiva de la atención primaria de salud Ethics of medical and scientific research from the primary health care*.
- Berner, J. E., Vidal, P., Will, P., & Castillo, P. (2014). [Use of hyperbaric oxygenation for wound management]. *Revista Médica de Chile*, 142(12), 1575–1583. <https://doi.org/10.4067/S0034-98872014001200011>
- Cannellotto, D. M., Romero-feris, D., Pascuccio, M., & Jordá-Vargas, L. (2018). *Aplicaciones médicas de las cámaras de oxigenación hiperbárica de nueva generación*. 131, 12–20. <https://pesquisa.bvsalud.org/portal/resource/pt/biblio-1009724>
- Chen, K.-L., Wu, C.-J., Tseng, W.-S., Lee, H.-C., Tsai, T.-P., & Huang, W.-S. (2018). Improvement of satisfaction in burn patients receiving adjuvant hyperbaric oxygen therapy. *Formosan Journal of Surgery*, 51(5), 184. https://doi.org/10.4103/fjs.fjs_162_17
- Cianci, P., Lueders, H. W., Lee, H., Shapiro, R. L., Sexton, J., Williams, C., & Sato, R. (1989). Adjunctive Hyperbaric Oxygen Therapy Reduces Length of Hospitalization in Thermal Burns. *The Journal of Burn Care & Rehabilitation*, 10(5), 432–435. <https://doi.org/10.1097/00004630-198909000-00012>
- Crumbaugh, J. C., & Maholick, L. T. (2011). Terapia de oxígeno hiperbárico para quemaduras de segundo grado. Curación: un estudio experimental en conejos. In *Psicoterapia y existencialismo* (pp. 183–198). Herder. <https://doi.org/10.2307/j.ctvt9k099.18>
- Doria, E., Rivadeneira, J. E., Yépez, Á., Pérez, H., & Suasti, W. (2018). Tratamiento con Oxigenación Hiperbárica en quemaduras producidas por uso inadecuado del láser. *Ecos de La Academia*, 4(8), 39–45. <http://revistasojs.utn.edu.ec/index.php/ecosacademia/article/view/53>
- Duque Ramírez, S., & Diab Forero, Y. A. (2020). *Efectos de la terapia con oxígeno hiperbárico en el manejo de algunas afecciones en piel y tejidos blandos en humanos*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78211>
- Evans, G. R. D., & Baldwin, B. J. (1997). Silicon Tissue Assay: A Measurement of Capsular Levels from Chemotherapeutic Port-a-Catheter Devices. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 99(5), 1354–1358. <https://doi.org/10.1097/00006534-199705000-00023>
- Garone, A., Marín, L., Murias, R., Crocenzi, A., & Portas, M. (n.d.). *Uso terapéutico de Oxigenación Hiperbárica para quemaduras especiales*. 1–10. <http://www.cirplasantisspiritibus2020.sld.cu/index.php/crplclass/jvccss2020/paper/viewFile/74/70>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, M. del P., Méndez Valencia, S., & Mendoza Torres, C. (2014). Metodología de la investigación. In *Metodología de la investigación* (Sexta, Vol. 6). McGrawHill Education.
- Hopf, H. W., Humphrey, L. M., Puzziferri, N.,

- West, J. M., Attinger, C. E., & Hunt, T. K. (2001). Adjuncts to preparing wounds for closure. *Foot and Ankle Clinics*, 6(4), 661–682. [https://doi.org/10.1016/S1083-7515\(02\)00008-6](https://doi.org/10.1016/S1083-7515(02)00008-6)
- Kindwall, E. P., Gottlieb, L. J., & Larson, D. L. (1991). Hyperbaric oxygen therapy in plastic surgery: a review article. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 88(5), 898–908. <https://doi.org/10.1097/00006534-199111000-00029>
- Lindenmann, J., Smolle, C., Kamolz, L., Smolle-Juettner, F. M., & Graier, W. F. (2021). Survey of Molecular Mechanisms of Hyperbaric Oxygen in Tissue Repair. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(21), 11754. <https://doi.org/10.3390/ijms222111754>
- Marín, L., Fioravanti, G., Cristaldo, E., Sereaday, C. E., Merbilhaá, O., & Portas, M. (2020). Hyperbaric oxygen therapy for a pediatric electrical burn: A case report. *Burns Open*, 4(3), 137–139. <https://doi.org/10.1016/j.burnso.2020.05.001>
- Mathieu, D., Marroni, A., & Kot, J. (2017). Tenth European Consensus Conference on Hyperbaric Medicine: recommendations for accepted and non-accepted clinical indications and practice of hyperbaric oxygen treatment. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 47(1), 24. <https://doi.org/10.28920/DHM47.1.24-32>
- NISA, B. un, HIRABAYASHI, T., MAESHIGE, N., KONDO, H., & FUJINO, H. (2022). Beneficial effects of mild hyperbaric oxygen exposure on microcirculation in peripheral tissues in healthy subjects: pilot study. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*. <https://doi.org/10.23736/S0022-4707.22.13363-3>
- Oley, M. H., Oley, M. C., Aling, D. M. R., Kalangi, J. A., Islam, A. A., Hatta, M., Patellongi, I. J., Josh, F., & Faruk, M. (2021). Effects of hyperbaric oxygen therapy on the healing of thermal burns and its relationship with ICAM-1: A case-control study. *Annals of Medicine and Surgery*, 61, 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2020.12.025>
- Oley, M. H., Oley, M. C., Wewengkang, L. A. J. W., Kepel, B. J., Langi, F. L. F. G., Setiadi, T., Aling, D. M. R., Gunawan, D. F., Tulong, M. T., & Faruk, M. (2022). Bactericidal effect of hyperbaric oxygen therapy in burn injuries. *Annals of Medicine and Surgery*, 74, 103314. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.103314>
- Rogatsky, G. G., Shifrin, E. G., & Mayevsky, A. (2013). Optimal dosing as a necessary condition for the efficacy of hyperbaric oxygen therapy in acute ischemic stroke: A critical review. <https://doi.org/10.1179/016164103101201003>, 25(1), 95–98.
- Roth, R. N., & Weiss, L. D. (2012). Hyperbaric oxygen and wound healing. *Clinics in Dermatology*, 12(1), 141–156. [https://doi.org/10.1016/0738-081x\(94\)90265-8](https://doi.org/10.1016/0738-081x(94)90265-8)
- Smolle, C., Lindenmann, J., Kamolz, L., & Smolle-Juettner, F.-M. (2021). The History and Development of Hyperbaric Oxygenation (HBO) in Thermal Burn Injury. *Medicina*, 57(1), 49. <https://doi.org/10.3390/medicina57010049>
- Stevens, L. J., & Page-McCaw, A. (2012). A secreted MMP is required for reepithelialization during wound healing. *Molecular Biology of the Cell*, 23(6), 1068–1079. <https://doi.org/10.1091/MBC.E11-09-0745/ASSET/IMAGES/LARGE/1068FIG7.JPEG>
- Stone, R., Natesan, S., Kowalczewski, C. J., Mangum, L. H., Clay, N. E., Clohessy, R. M., Carlsson, A. H., Tassin, D. H., Chan, R. K., Rizzo, J. A., & Christy, R. J. (2018). Advancements in Regenerative Strategies Through the Continuum of Burn Care. *Frontiers in Pharmacology*, 9(JUL), 672. <https://doi.org/10.3389/FPHAR.2018.00672>
- Sun, Y., Oberley, L. W., & Li, Y. (1988). A simple method for clinical assay of superoxide

- dismutase. *Clinical Chemistry*, 34(3), 497–500. <https://doi.org/10.1093/clinchem/34.3.497>
- Sureda, A., Ferrer, M. D., Batle, J. M., Tauler, P., Tur, J. A., & Pons, A. (2009). Scuba Diving Increases Erythrocyte and Plasma Antioxidant Defenses and Spares NO without Oxidative Damage. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(6), 1271–1276. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181951069>
- Tiidus, P. M. (2015). Alternative treatments for muscle injury: massage, cryotherapy, and hyperbaric oxygen. *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 8(2), 162–167. <https://doi.org/10.1007/s12178-015-9261-3>
- Van Meter, K. W. (2012). The effect of hyperbaric oxygen on severe anemia. *Undersea & Hyperbaric Medicine: Journal of the Undersea and Hyperbaric Medical Society, Inc*, 39(5), 937–942. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23045922/>
- Villanueva, E., Bennett, M. H., Wasiak, J., & Lehm, J. P. (2004). Hyperbaric oxygen therapy for thermal burns. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2010(1), CD004727. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD004727.pub2>
- Wasiak, J., Bennett, M., & Cleland, H. J. (2006a). Hyperbaric oxygen as adjuvant therapy in the management of burns: Can evidence guide clinical practice? *Burns*, 32(5), 650–652. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2006.04.006>
- Wasiak, J., Bennett, M., & Cleland, H. J. (2006b). Hyperbaric oxygen as adjuvant therapy in the management of burns: Can evidence guide clinical practice? *Burns*, 32(5), 650–652. <https://doi.org/10.1016/j.burns.2006.04.006>
- Weitgasser, L., Ihra, G., Schäfer, B., Markstaller, K., & Radtke, C. (2019). Update on hyperbaric oxygen therapy in burn treatment. *Wiener Klinische Wochenschrift 2019* 133:3, 133(3), 137–143. <https://doi.org/10.1007/S00508-019-01569-W>
- Wu, X., Liang, T.-Y., Wang, Z., & Chen, G. (2021). The role of hyperbaric oxygen therapy in inflammatory bowel disease: a narrative review. *Medical Gas Research*, 11(2), 66. <https://doi.org/10.4103/2045-9912.311497>
- Yildirim, G., Baştuğ, M., Akçil, E., Fiçicilar, H., Koç, E., & Zaloğlu, N. (2000). Does the Platelet-Activating Factor Affect the Antioxidant Defense System?: The Possible Role of Hyperbaric Oxygenation. *Biological Trace Element Research*, 78(1–3), 7–12. <https://doi.org/10.1385/BTER:78:1-3:7>