

Hyperbaric therapy in adult patients with early-stage osteonecrosis of the femoral head. A literature review

Terapia hiperbárica en pacientes adultos con osteonecrosis de la cabeza femoral en estadios iniciales. Revisión bibliográfica

Autores:

Pozo-Altamirano, Fernanda Marisol
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Facultad Ciencias de la Salud. Carrera Medicina
Ambato –Ecuador



fpozo1243@uta.edu.ec



<https://orcid.org/0000-0001-5612-5134>

Valverde-Gavilanes, Manuel Ricardo
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
Especialista en Traumatología y Ortopedia
Ambato –Ecuador



mr.valverde@uta.edu.ec



<https://orcid.org/0009-0005-5832-1581>

Fechas de recepción: 01-ABR-2025 aceptación: 01-MAY-2025 publicación: 30-JUN-2025



<https://orcid.org/0000-0002-8695-5005>

<http://mqrinvestigador.com/>



Resumen

La Terapia Hiperbárica (TH) se presenta como una alternativa prometedora en el tratamiento de la osteonecrosis de la cabeza femoral (ONCF), especialmente en sus etapas iniciales. Esta técnica consiste en la administración de oxígeno puro a altas presiones, lo cual mejora la oxigenación de tejidos isquémicos, reduce la inflamación y estimula la angiogénesis. Su aplicación ha demostrado ser útil en el retraso del colapso articular, un aspecto crucial para preservar la función articular en pacientes con ONCF. Para evaluar su efectividad, se realizó una revisión bibliográfica donde se analizaron 20 artículos seleccionados de un total de 760 referencias, provenientes de bases como Google Scholar, PubMed, Scielo, Springer y Web of Science. Se utilizaron operadores booleanos en las combinaciones de búsqueda para localizar estudios relevantes. Los criterios de inclusión contemplaron análisis clínicos de casos con ONCF, comparaciones con otras terapias, estudios sobre calidad de vida, ventajas terapéuticas de la TH y publicaciones recientes. Los resultados revisados muestran que la TH es eficaz en la mejora de la oxigenación tisular y promueve la regeneración ósea al aumentar la presión parcial de oxígeno en las zonas afectadas. Esto favorece la vascularización y reduce el riesgo de colapso óseo, lo que contribuye a la preservación de la cabeza femoral. No obstante, se resalta la importancia de considerar factores individuales del paciente, como la etapa de la enfermedad, edad y comorbilidades, para una correcta personalización del tratamiento. En conclusión, la TH representa una herramienta terapéutica útil y prometedora en el manejo temprano de la ONCF.

Palabras clave: Terapia hiperbárica; osteonecrosis cabeza femoral; colapso articular



Abstract

Hyperbaric Oxygen Therapy (HBOT) emerges as a promising alternative in the treatment of osteonecrosis of the femoral head (ONFH), particularly in its early stages. This technique involves the administration of pure oxygen at high pressures, which enhances the oxygenation of ischemic tissues, reduces inflammation, and stimulates angiogenesis. Its application has proven useful in delaying joint collapse, a crucial factor in preserving joint function in patients with ONFH. To evaluate its effectiveness, a literature review was conducted, analyzing 20 selected articles from a total of 760 references found in databases such as Google Scholar, PubMed, Scielo, Springer, and Web of Science. Boolean operators were used in the search combinations to identify relevant studies. The inclusion criteria considered clinical case analyses of ONFH, comparisons with other therapies, studies on quality of life, therapeutic advantages of HBOT, and recent publications. The reviewed results show that HBOT is effective in improving tissue oxygenation and promotes bone regeneration by increasing the partial pressure of oxygen in the affected areas. This enhances vascularization and reduces the risk of bone collapse, contributing to the preservation of the femoral head. However, the importance of considering individual patient factors such as disease stage, age, and comorbidities is emphasized, as these are essential for the proper personalization of treatment. In conclusion, HBOT represents a useful and promising therapeutic tool for the early management of ONFH.

Keywords: Hyperbaric therapy; osteonecrosis; femoral head; joint collapse



Introducción

La osteonecrosis de la cabeza femoral (ONCF) es una patología que se caracteriza por la reducción del flujo sanguíneo en la cabeza del fémur, los mecanismos fisiopatológicos exactos detrás de la necrosis avascular de la cabeza femoral no siempre están de manera clara definidos y generalmente se consideran multifactoriales. Independientemente del factor desencadenante, el resultado es esencialmente la muerte de los osteocitos y la médula ósea que resulta en el insuficiente flujo sanguíneo que llega al hueso subcondral del fémur proximal. Esta muerte celular conducirá de manera inevitable al colapso de la cabeza femoral y a la posterior osteoartritis y colapso articular, el cual si no se trata eficazmente en las etapas iniciales es un proceso irreversible ya que puede llegar a fracturas subcondrales, dolor crónico a nivel de la cadera y pérdida funcional total (Barney et al., 2023)

Esta es responsable de alrededor de un 3% del total de coxopatías en adultos jóvenes, además es una condición progresiva y con gran potencial debilitante que puede desarrollar varias comorbilidades en los pacientes que la padecen.

En las etapas iniciales, la ONCF tiende a ser generalmente asintomática lo que aumenta el nivel de dificultad para su detección precoz y oportuna. Sin embargo, con el tiempo y el avance de la enfermedad la clínica se hace evidente caracterizándose principalmente por dolor en la cadera y la pérdida de la movilidad. Existe actualmente una serie de técnicas que son reconocidas para poder obtener imágenes de niveles avanzados como la (RMN), que garantizan un análisis precisos y detallados, siendo fundamentales para cuando se desea realizar diagnósticos oportunos, en aquellos pacientes que ya pueden estar desarrollando procesos de necrosis (Javier et al., 2022; Pinilla-Gracia et al., 2020).

La ONCF, generalmente se manifiesta a nivel clínico como un dolor en la región inguinal, que puede estar irradiada o extenderse hacia la región glútea e incluso hacia el muslo. Siendo característico un dolor constante e intenso, que puede aumentar con los movimientos activos, progresando incluso hasta llegar a ser un dolor limitante que permanece constante en posturas de reposo. Esta se presenta además con rigidez y una disminución amplia de la movilidad de



la cadera, afectando actividades comunes dentro de la dinámica diaria como el caminar y subir escaleras (Barney et al., 2023; Javier et al., 2022). Dentro de sus etapas iniciales, es fundamental buscar diagnóstico precoz con la finalidad de evitar el colapso articular permitiendo preservar la funcionalidad. Presentándose en los casos donde no se implementan los tratamientos adecuados un avance hacia la artrosis secundaria, lo que complica el nivel de calidad de vida e incluso llega a presentarse la necesidad de uso de procedimientos más invasivos, tal es el caso del reemplazo articular (Mena et al., 2020; Paderno et al., 2021).

Dentro de los diferentes factores que predisponen a un paciente a presentar ONCF se encuentra el hecho del uso prolongado de corticoides, trastornos hematológicos, abuso del alcohol, incluyendo elementos relacionados con las enfermedades autoinmunes y los tratamientos que utilizan la radioterapia. Además, existen causas traumáticas directas o microtraumas que se pueden desarrollar de manera repetida lo que repercute directamente sobre la circulación sanguínea en la cabeza femoral. De allí que, sea necesario comprender cada una de estas posibles etiologías para implementar de esa forma una evaluación adecuada en cada paciente que pueda presentar ONCF, facilitando así su diagnóstico precoz, prevención y monitoreo continuo (Lidueña et al., 2023).

Las ONCF, generalmente se da secundario a una interrupción de flujo sanguíneo en la cabeza femoral causando la lesión, esto incluso se desarrolla a niveles de pérdida en la integridad ósea o la muerte de los osteocitos. En algunas situaciones, estas interrupciones generan microtraumas, o incluso algunos procesos no traumáticos como la trombosis o el aumento de la presión intraósea, provocando como resultado una isquemia que produce una degradación progresiva de la estructura ósea, lo que puede terminar en una deformación articular sino es tratada a tiempo. Esta inflamación secundaria y remodelación defectuosa favorece el desarrollo de la enfermedad, lo que a su vez disminuye la función articular. De allí que, sea importante su detección temprana y una intervención oportuna (Barney et al., 2023; Bozkurt et al., 2021; Gardin et al., 2020).

La ONCF está caracterizada por presentar diferentes estadios según sus niveles de desarrollo y del daño óseo causado. De allí, surgen clasificaciones como las de Ficat que está conformada por cuatro etapas:

Tabla 1. Resumen de la clasificación de Ficat y Arlet.

Etapas	Características
I. Inicial o Pre-radiológico	No presenta cambios significativos en radiografía simple, solo puede ser detectable con técnicas como la resonancia magnética debido a que es asintomático.
II. Evolutivo o Pre-colapso	Comienzan a observarse cambios en las radiografías (quistes, esclerosis), sin llegar a niveles del colapso articular.
III. Colapso subcondral o secundario	Ya se presenta un colapso subcondral, que se conoce como signo de semiluna y pérdida de la esfericidad de la cabeza femoral. Está directamente relacionado con un dolor severo y limitante
IV. Avanzado o artrosis secundaria	Se desarrolla una degeneración articular completa con artrosis secundaria y pérdida funcional significativa, cambios osteoartrotríticos degenerativos a nivel de fémur y acetábulo.

Fuente: Elaborado por el autor

De esta forma se resalta la necesidad de buscar el diagnóstico temprano que permita las intervenciones adecuadas buscando retrasar el progreso de las mismas (Javier et al., 2022; Mena et al., 2020; Paderno et al., 2021; Zhao et al., 2020). Para diagnosticar la ONCF, es necesario realizar de manera integral una serie de evaluaciones clínicas preferiblemente acompañadas por técnicas con imágenes, siendo una de las más importantes las realizadas



con resonancia magnética, que favorece una detección temprana en la que se pueden llegar a observar una serie de cambios en la médula ósea mucho antes de ser visible en la radiografía.

Por un lado, puede ser utilizada una tomografía computarizada que permite resaltar la extensión del colapso óseo y la planificación quirúrgica. Por otro lado, es útil la implementación de gammagrafía ósea. En función de todos estos elementos y de las características clínicas de cada paciente se debe tomar la decisión del método diagnóstico a ser utilizado (Barney et al., 2023; Mena et al., 2020; Pinilla-Gracia et al., 2020; Salameh et al., 2021).

En los diferentes estadios de la ONCF a niveles avanzados, donde ya existe un colapso de la cabeza femoral resulta evidente la severidad del dolor y se hacen necesario los tratamientos quirúrgicos. Una de las principales opciones es la artroplastia total de cadera (ATC) la cual alivia considerablemente el dolor además de mejorar la función articular. Todos estos elementos toman en consideración las características propias de cada paciente, pudiendo optar por la ATC, que favorece la movilidad. Hoy en día se sabe que es prudente la utilización de técnicas que sean mínimamente invasivas, la posibilidad de las prótesis, todo en función del grado de avance del deterioro articular y las comorbilidades presentadas por el paciente (Hernández Aznar et al., 2019; Padilla et al., 2020; Sanchez Julio et al., 2021).

La Terapia Hiperbárica (TH), hoy en día es una técnica usada dentro de las etapas iniciales de la ONFC. Esta se fundamenta en la administración con altas presiones de oxígeno puro a ciertos tejidos isquémicos, lo que favorece la reducción de los procesos inflamatorios y la promoción de la angiogénesis. La implementación de este elemento ha sido significativa en el retraso del colapso articular que es de tanta importancia para los pacientes (Bozkurt et al., 2021; Paderno et al., 2021).

El uso de la TH ha generado resultados de gran beneficio para el tratamiento de la ONCF, favoreciendo estimulación sobre la regeneración ósea, permitiendo que se activen las células madre mesenquimales. Estas células se enfocan en la reparación del tejido ósea dañado generando a su vez nuevos vasos sanguíneos que son fundamentales para todo paciente que

sufre de esta afección. Otro de los beneficios es que ayuda a la reducción del estado oxidativo y la apoptosis celular que son factores primordiales en el deterioro óseo (Gardin et al., 2020; Hernández Aznar et al., 2019).

La TH, se ha venido desarrollando y utilizando dentro de las primeras etapas de la ONCF, buscando contribuir a una mejor oxigenación de los tejidos afectados, reduciendo de esa forma los procesos inflamatorios. Para que esta técnica sea efectiva depende del estadio en el que se presente la enfermedad, también de las respuestas y características clínicas de cada paciente. Existen reportes en donde se han observado mejoras en la movilidad una vez aplicada la técnica, en comparación con aquellos que solo fueron atendidos farmacológicamente y en algunos casos quirúrgicos (Bozkurt et al., 2021; Mena et al., 2020; Pabón Carlos & Solano Luis, 2020; Salameh et al., 2021; Salmón-González et al., 2020; Zhao et al., 2020).

En el estudio realizado por (Sanchez Julio et al., 2021), se evaluaron el comportamiento epidemiológico en fracturas a nivel de la articulación coxal, se ofrece una perspectiva sobre los distintos factores que podrían contribuir al desarrollo de patologías óseas, siendo un caso oportuno para la ONCF. A pesar de que su enfoque está centrado en la fractura de cadera, las tendencias observadas en adultos mayores podrían ser utilizadas como patrones para la identificación de grupos de riesgo, o incluso posibles complicaciones que tienen alta relación con la degeneración ósea. De igual forma, (Sosa Henríquez et al., 2018), afirman que esta técnica puede ser utilizada como un proyecto de evolución sobre las fracturas de la cadera para América Latina, comparado con eventos a nivel global. Esta investigación también estuvo centrada en la cadera, este tipo de patrón observado a nivel óseo favorece la obtención de mejores contextos en la ONCF en pacientes adultos. La prevención para las grandes tasas degenerativas que se presentan en América Latina podría fundamentar nuevas ideas de desarrollo en la atención de los pacientes con ONCF, abordando en mayores instancias las etapas iniciales.

(Kornør H, 2022), por su parte aborda la TH aplicada en osteonecrosis permitiendo obtener una visión más detallada sobre la eficacia de la técnica para el tratamiento en este grupo de



pacientes. El aporte de su estudio es relevante a nivel de esta revisión, ya que resalta el impacto de esta técnica sobre la regeneración del tejido óseo, proporcionando a su vez los posibles beneficios y limitaciones para la implementación de la terapia, lo que valida su potencial utilidad en etapas iniciales con la finalidad de lograr el retraso de la progresión.

En el estudio presentado por (Padilla et al., 2020), se realiza un análisis centrado del gran impacto económico que representa la necesidad de un reemplazo articular parcial o total secundario ONCF, en el cual se enfoca en la utilidad de nuevas opciones terapéuticas más accesibles, con impacto similar sobre esta patología como es la TH, que ofrece calidad de vida cuando es usada de manera precoz.

Estudios como los realizados por (Zhao et al., 2020), proporcionan lineamientos clínicos con un nivel actualizado que puede favorecer el diagnóstico y tratamiento en adultos para la osteonecrosis de la cabeza femoral, estableciendo de este modo un marco para patrones de abordaje de la ONCF. Incluyendo que se pueden observar los métodos de evaluación clínica, así como los criterios de intervención quirúrgica, no quirúrgica y su efectividad.

Un enfoque integral para el tratamiento de este tipo de afecciones es primordial, ya que puede favorecer y enfocar la toma de decisiones para su adecuado abordaje. Existen diversos estudios y proyectos que se están desarrollando en pro del alcance y optimización de las diversas y posibles combinaciones. Aunado a este hecho también es fundamental la personalización de los diferentes protocolos que puedan ser usados según las características clínicas particulares de cada paciente.

Material y métodos

Para la realización de esta investigación se realizará una revisión bibliográfica con el método PRISMA (Figura 1), buscando de esa forma obtener una visión real sobre la eficacia de la TH en pacientes que presentan ONCF. Este estudio se centrará en la recopilación, análisis y síntesis de la literatura científica publicada sobre el tema, desarrollando a su vez una evaluación comparativa del fenómeno. Se utilizaron las siguientes bases de datos Web of Sciene, PubMed, Scielo, Springer y Google Académico; empleando distintos términos combinados de búsqueda con la ayuda de operadores booleanos AND: "osteonecrosis of the



femoral head" AND "hyperbaric oxygen therapy", "avascular necrosis" AND "hyperbaric oxygen" "femoral head necrosis" AND "hyperbaric treatment".

Como criterios de inclusión se usaron:

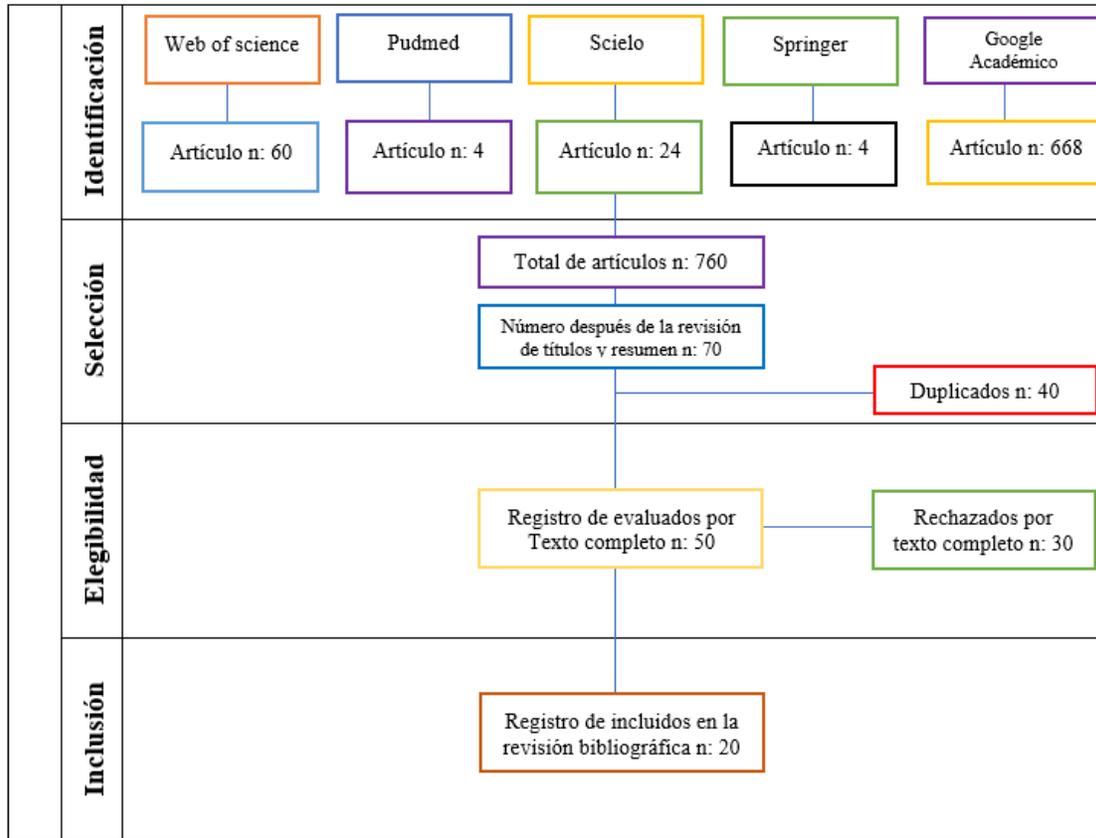
- A. Análisis de casos de osteonecrosis de la cabeza femoral.
- B. Comparaciones de la terapia hiperbárica con otras alternativas terapéuticas.
- C. Análisis de la calidad de vida en pacientes con osteonecrosis de la cabeza femoral
- D. Exploración de las ventajas terapéuticas de la oxigenación hiperbárica
- E. Estudios realizados en la última década.

Criterios de exclusión:

- A. Publicación mayor a 10 años
- B. Artículos de opinión
- C. Autores duplicados
- D. Resúmenes de reuniones o de conferencias
- E. Libre acceso.

Figura 1

Diagrama de flujo para la selección de la bibliografía sobre la terapia hiperbárica en pacientes adultos con osteonecrosis de la cabeza femoral en estadios iniciales.



Fuente: Elaborado por el autor.

Resultados

En el siguiente trabajo una vez analizado el conjunto de autores (Tabla 1), se observa una tendencia que respalda el beneficio de la terapia hiperbárica en los estadios iniciales de la osteonecrosis de la cabeza femoral, aunque estos varían en su metodología, tamaño y tratamientos. Aunado al hecho de que la variabilidad en la respuesta va en función de las características de severidad de la enfermedad, edad del paciente, y si existen o no otras comorbilidades (Hines et al., 2021).

Para (Barney et al., 2023), la terapia hiperbárica (TH) en la osteonecrosis de la cabeza femoral, mejora considerablemente la oxigenación tisular, lo que se transforma en una base fundamental para la aplicación de este tratamiento, lo que se observa claramente, ya que cuando aumenta la presión parcial de oxígeno el tejido óseo regenera y a su vez vasculariza las áreas afectadas. De igual forma señalan que las variabilidades dentro de los casos clínicos varían en función del grado de avance de la enfermedad y las comorbilidades que se presenten, lo que es un enfoque importante como una base teórica para futuras aplicaciones de la TH.

En un estudio realizado por (Bozkurt et al., 2021), se ofrece una robusta evidencia sobre un grupo de 50 pacientes, en el cual se muestra la combinación de la TH, en el cual desde el punto de vista estadístico se observó una diferencia significativa con la mejora en la descompresión del núcleo. A su vez, los autores indican que este avance es producto de esa reducción y del incremento en la vascularización. Todos los resultados fueron consistentes, obteniendo una mayor supervivencia de la cabeza femoral y una menor cantidad de colapso óseo. El análisis sugiere a su vez que la combinación de tratamientos es fundamental para garantizar una mayor cantidad de beneficios de la TH, siempre y cuando se tomen en consideración factores importantes que influyen en la respuesta (edad, tiempo de diagnóstico).

Tabla 2.

Resultados obtenidos de la revisión bibliográfica para la Terapia hiperbárica en pacientes adultos con osteonecrosis de la cabeza femoral en estadios iniciales.

Autor	Muestra	Metodología	Utilidad de la Terapia Hiperbárica	Mecanismo de la Terapia Hiperbárica y su Utilidad en la Osteonecrosis	Cambios Clínicos y Radiológicos en los Pacientes	Factores que Influyen en la Respuesta a la Terapia
Barney et al. (1)	No especificado	Revisión de literatura y estudios previos	Útil para mejorar la oxigenación tisular en osteonecrosis de cabeza femoral	Aumenta la presión parcial de oxígeno en los tejidos afectados, promoviendo la regeneración ósea y vascularización.	Mejora del dolor y limitación funcional en algunos casos.	Severidad de la enfermedad, edad del paciente, presencia de comorbilidades
Bozkurt et al. (11)	50 pacientes con osteonecrosis en estadios I y II	Ensayo clínico con combinación de terapia hiperbárica y descompresión del núcleo.	Mejora los resultados clínicos cuando se combina con otros tratamientos	Mejora la vascularización y disminuye la presión intraósea, lo que facilita la curación del tejido óseo.	Cambios radiológicos evidentes con mayor supervivencia de la cabeza femoral, menos colapso óseo	Edad, tiempo de diagnóstico, y combinación con otras terapias como la descompresión

Fraga & Jordá (9)	No aplica (estudio bioquímico de la in vitro)	Revisión bioquímica del mecanismo de la oxigenación hiperbárica	Promueve la regeneración ósea y la vasculogénesis	La terapia hiperbárica mejora la actividad de las células madre mesenquimales, esenciales para la reparación ósea en presencia de inflamación.	No aplicable (estudio in vitro).	Respuesta celular dependiente del nivel de inflamación presente en los tejidos.
Hernández & Ramiro (7)	25 pacientes adultos con osteonecrosis de cabeza femoral	Estudio de caso con análisis de cambios clínicos	Se muestra eficaz como tratamiento precoz para detener la progresión de la osteonecrosis	Mejora la regeneración ósea y reduce el edema intraóseo, lo que facilita la recuperación funcional del paciente	Mejoría clínica significativa con reducción del dolor y mejoría en la movilidad articular	Fase de la enfermedad, tiempo de exposición a la oxigenoterapia, y adherencia al tratamiento completo
Paderno <i>et al.</i> (6)	Meta-análisis de 12 estudios	Revisión sistemática y meta-análisis	Reducción de la progresión de la necrosis cuando se utiliza en fases iniciales	Mejora la angiogénesis y promueve la osteogénesis, esenciales para la recuperación de la cabeza femoral	Reducción de lesiones radiológicas, aumento de la sobrevida de la articulación	Estadios tempranos responden mejor, comorbilidades como el uso de corticoides pueden afectar la respuesta
Salameh <i>et al.</i> (12)	15 pacientes con osteonecrosis en estadios I y II	Estudio de casos y revisión de la literatura	Altamente efectiva en la prevención de la progresión de la osteonecrosis en fases iniciales	Incrementa la presión parcial de oxígeno, favoreciendo la regeneración del tejido óseo en la cabeza femoral	Cambios clínicos significativos con reducción del dolor y mejora funcional	Fase inicial de la enfermedad, comorbilidades, tiempo de inicio del tratamiento
Kornor (17)	No especificado	Revisión de estudios clínicos	Puede ser útil como terapia complementaria en estadios iniciales	Aumenta la capacidad de oxigenación tisular, lo que reduce la hipoxia en la cabeza femoral	Mejora funcional en algunos casos, sin evidencia clara en todos los estudios revisados	Variabilidad en la respuesta dependiendo de la edad y la presencia de otras patologías

Fuente: Elaboración del autor.

Para (Fraga & Jordá-Vargas, 2021), realizaron una investigación del mecanismo biológico de la oxigenoterapia, los autores describen como la TH favorece el aumento de las células madre mesenquimales, lo que es crucial para poder realizar la reparación ósea en los casos de inflamación. En el trabajo se puede entender los diferentes mecanismos subyacentes de la

TH en la regeneración ósea, esto respalda la idea de la capacidad y eficacia de este tipo de tratamiento la cual está relacionada con la intervención en el estado inflamatorio.

Dentro de la investigación realizada por (Hernández Aznar et al., 2019), en donde evaluaron los cambios clínicos en 25 pacientes que fueron tratados con TH. Su trabajo se fundamenta en caracterizar los diferentes beneficios que se obtienen al aplicar esta terapia para poder detener la progresión de la osteonecrosis en sus primeras etapas, lo que generó mejoras significativas a nivel del dolor y la movilidad articular. Además, en los casos donde los pacientes se encontraban en etapas tempranas de la afección se reflejaron mejores resultados.

De igual forma, los autores resaltan la importancia de implementar el tratamiento de manera completa para asegurar un enfoque que sea prolongado durante todas las fases de recuperación.

Paderno et al., 2021, realizaron un meta-análisis a partir del estudio de 12 investigaciones que proporcionan un excelente enfoque estadístico acerca de los beneficios de la TH, mostrando un robusto y sistemático examen. En esta investigación se concluye sobre la calidad del tratamiento y su eficacia para disminuir la progresión de la necrosis en sus primeras etapas, y que la angiogénesis, además de otras osteogénesis, permite mecanismos que favorecen la recuperación de la cabeza femoral. Sin embargo, también argumentan la relevancia del grado de respuesta que se obtiene ante diferentes características clínicas del paciente, como su edad y la presencia de otras comorbilidades.

En el estudio realizado por (Salameh et al., 2021), se llevó a cabo un experimento con 15 pacientes, donde se observó la significancia de la TH, concluyendo acerca de su efectividad en la prevención de la progresión de la osteonecrosis en sus fases iniciales. Bajo este enfoque, se destaca la regeneración a nivel tisular gracias al aumento de la oxigenación, lo que garantiza el desarrollo de una recuperación adecuada en términos funcionales y con menos colapso de la cabeza femoral. El estudio respalda, en consonancia con investigaciones anteriores, la importancia de la TH en las etapas tempranas de la afección, así como también cuando se combina con otras intervenciones.

Según (Kornør H, 2022), a través de una revisión general de una serie de estudios clínicos relacionados con la TH, se valida la relevancia y efectividad de este tratamiento como complemento, lo cual suele observarse con mayor énfasis en las primeras fases de la enfermedad. De igual forma, el autor sostiene que una mayor oxigenación tisular permite disminuir el estado de hipoxia en la cabeza femoral, lo que puede generar una reducción en la gravedad de la afección. No obstante, esta evidencia no siempre es consistente en todas las investigaciones, ya que no todos los pacientes presentan la misma reacción, y dicha variabilidad demuestra una relación con la edad y otras comorbilidades.

Discusión

Al realizar una comparación entre los trabajos realizados por Bozkurt et al., y Salameh et al., se observa un enfoque respecto al tratamiento temprano de la osteonecrosis de la cabeza femoral con este tipo de intervención. Ambos destacan que el tratamiento tiende a ser más efectivo en las primeras fases de la afección. Por otra parte, Bozkurt et al., en su comparación entre la TH y la descompresión del núcleo, observaron una gran mejora en la vascularización y la reducción de la progresión de la necrosis; por otro lado, Salameh et al., en otro tipo de investigación, obtuvieron también mejoras en la regeneración tisular, contrastando con el ensayo señalado anteriormente, lo que sugiere que ambos métodos logran mejorar la recuperación.

Dentro de las comparaciones que se pueden realizar en la presente investigación se encuentra los trabajos realizados por (Paderno et al., 2021) y Fraga & Jordá-Vargas, en donde encontramos en primera instancia que el estudio realizado por Paderno et al., realizó un meta-análisis de 12 estudios, lo que le permitió concluir que para beneficiar la recuperación ósea es importante la angiogénesis y osteogénesis. En otra instancia, Fraga & Jordá-Vargas, se centraron en diversos mecanismos desarrollados in vitro, como la estimulación de células madre mesenquimales. Ambos estudios enfatizan la relevancia de la TH y de los procesos celulares que promueven en mayor medida la regeneración ya que crea un ambiente óptimo para la génesis de nuevas células.

De igual forma se observan los trabajos realizados por (Hernández Aznar et al., 2019) y (Kornør H, 2022) quienes logran realizar un abordaje sobre la variabilidad de la TH, en donde, Hernández Aznar et al., enfocan en un estudio de caso, evidenciando cómo los pacientes en etapas iniciales responden con mejores resultados, especialmente en la disminución del dolor y el aumento de la movilidad articular. Kornør, en su análisis sobre la efectividad de la terapia, resalta un enfoque mixto, destacando igualmente la importancia de considerar la edad y la presencia de comorbilidades para determinar un pronóstico más exacto del uso de esta alternativa terapéutica.

Por otra parte (Currie et al., 2024), en su estudio presentaron datos obtenidos de un centro médico durante un período de 30 años y comparamos los resultados con otros datos artículos publicados, de esta manera se analizó veintiún articulaciones en 14 pacientes de los cuales 14 corresponden a lesiones de cabezas femorales y siete a lesiones en cóndilos femorales, estos fueron tratadas con TH desde 1989, dentro del grupo de la cabeza femoral, nueve de las 14 articulaciones que corresponden al 64% seguimiento con resonancias magnéticas (RM) a las cuales se reportaron estables o mejoradas después del tratamiento y a los seis meses (mínimo), tres articulaciones requirieron intervención quirúrgica y tres pacientes desarrollaron barotrauma de oído leve. Dentro del grupo del cóndilo femoral, las cinco



articulaciones tuvieron resonancias magnéticas estables o incluso presentaron mejorías tras ser sometidos al tratamiento, de los cuales cuatro tuvieron una mejoría visible en el edema y/o la estabilidad condral, y ninguno de los pacientes de este grupo requirió intervención quirúrgica en el seguimiento en un plazo mayor a seis meses. De esta forma este estudio retrospectivo unicéntrico observó una prevención de la progresión de la enfermedad mediante el uso de TH, resultados comparables con otros estudios publicados, es así como se refuerza la evidencia de que la TH ha logrado desempeñar un papel relevante en el tratamiento de la osteonecrosis de la cabeza femoral (Currie et al., 2024).

Conclusiones

Los estudios analizados demuestran la eficacia de la TH en la osteonecrosis de la cabeza femoral, especialmente en sus fases iniciales. Se enfatiza una mejora significativa en la oxigenación tisular, la cual favorece y promueve la regeneración ósea mediante un incremento en la presión parcial del oxígeno en las distintas áreas afectadas. Este proceso de oxigenación impulsa la vascularización, lo que permite reducir el colapso óseo y facilita la supervivencia de la cabeza femoral. Sin embargo, es notable que incluso se debe considerar la variabilidad en las características clínicas del paciente, como la severidad de la enfermedad, la edad y las comorbilidades, ya que constituyen una base fundamental para asegurar que el tratamiento sea personalizado y eficaz.

A pesar de que los estudios consolidan el rendimiento y eficacia de la TH sobre la osteonecrosis de la cabeza femoral en sus estadios iniciales, se evidencia una variabilidad sobre las diferentes respuestas a nivel clínico que son elementos de mucha relevancia y que necesitan ser considerados. Estos estudios demuestran que cuando la enfermedad es abordada en estadios iniciales sus resultados tienden a ser mejoras significativamente. Sin embargo, es importante enfocar los perfiles de los pacientes que podrán beneficiarse más del tratamiento para evitar proporcionar este tratamiento en pacientes no aptos. Esta variabilidad es uno de los puntos clave que deben ser considerados en cada paciente.

Es importante también optar por las posibilidades de las combinaciones entre tratamientos, lo que favorece y maximizará los beneficios perseguidos dentro de cada paciente. Se comprobó que la combinación entre la TH y la descompresión del núcleo es eficiente para la supervivencia de la cabeza femoral, destacando la sinergia entre ambos enfoques. Las integraciones de tratamientos promueven la angiogénesis y osteogénesis que son importantes para la recuperación y mantenimiento óseo, potenciando de esa forma los efectos alcanzados por la TH, así como también mitigando los riesgos de progresión de la necrosis, lo que asegura una mayor estabilidad articular y funcionalidad a largo plazo evitando discapacidad en este grupo de pacientes.



Referencias bibliográficas

- Barney, J., Piuuzzi, N. S., & Akhondi, H. (2023). Femoral Head Avascular Necrosis. *Radiopaedia.Org*. <https://doi.org/10.53347/rid-44260>
- Bozkurt, I., Yalcin, N., Uluyardimci, E., & Akgul, E. A. (2021). Combination of hyperbaric oxygen and core decompression therapies improve outcomes in the treatment of hip osteonecrosis. *Https://Doi.Org/10.1177/11207000211003285*, 32(6), 759–765. <https://doi.org/10.1177/11207000211003285>
- Currie, J. R., Gawthrope, I. C., & Banham, N. D. (2024). The use of hyperbaric oxygen for avascular necrosis of the femoral head and femoral condyle: a single centre's experience over 30 years. *Diving and Hyperbaric Medicine*, 54(2), 92–96. <https://doi.org/10.28920/DHM54.2.92-96>
- Fraga, P. M. E., & Jordá-Vargas, L. (2021). Bioquímica de la oxigenación hiperbárica. *Revista Bioquímica y Patología Clínica*, 85(2), 58–65. <https://revistabypc.org.ar/index.php/bypc/article/view/140>
- Gardin, C., Bosco, G., Ferroni, L., Quartesan, S., Rizzato, A., Tatullo, M., & Zavan, B. (2020). Hyperbaric oxygen therapy improves the osteogenic and vasculogenic properties of mesenchymal stem cells in the presence of inflammation in vitro. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(4). <https://doi.org/10.3390/ijms21041452>
- Hernández Aznar, M. C., Cortés Aparisia, R., & Casañ Pallardó, M. (2019). Beneficios de la oxigenoterapia hiperbárica en el tratamiento de la osteonecrosis de cabeza femoral. *Medicina General, ISSN-e 0214-8986, Vol. 8, N° 6, 2019*, 8(6), 10. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7470853&info=resumen&idioma=E> NG
- Hines, J. T., Jo, W. L., Cui, Q., Mont, M. A., Koo, K. H., Cheng, E. Y., Goodman, S. B., Ha, Y. C., Hernigou, P., Jones, L. C., Kim, S. Y., Sakai, T., Sugano, N., Yamamoto, T., Lee, M. S., Zhao, D., Drescher, W., Kim, T. Y., Lee, Y. K., ... Park, J. W. (2021). Osteonecrosis of the Femoral Head: an Updated Review of ARCO on Pathogenesis, Staging and Treatment. *Journal of Korean Medical Science*, 36(24), 1–15. <https://doi.org/10.3346/JKMS.2021.36.E177>,
- Javier, F., Fonseca, B., Jamir, O., Lata, Y., Javier, ;, Haro, E. S., Daniel, ;, & Mora, A. V. (2022). Osteonecrosis de la cabeza femoral por corticoides. *RECIAMUC*, 6(1), 458–469. [https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/6.\(1\).ENERO.2022.458-469](https://doi.org/10.26820/RECIAMUC/6.(1).ENERO.2022.458-469)
- Kornør H, D. A. (2022). *Hyperbar oksygenbehandling av osteonekrose - FHI*. <https://www.fhi.no/publ/2019/hyperbar-oksygenbehandling-av-osteonekrose/>
- Lidueña, C., Mendoza, A., Malo, A., Al Awad, A., & Liduena, □. (2023). *Necrosis De Cabeza Femoral: Etiología Clasificación Y Tratamiento: Revisión Bibliográfica*. <https://doi.org/10.36648/1698-9465.23.19.1579>
- Mena, K., Mendoza, M., Galván, J. M., Jeanmaire, E., Ferrari, L., & Cobeñas, R. (2020). No dejemos morir al hueso: interiorizándonos con los procesos óseos avasculares. *Revista Argentina de Radiología / Argentinian Journal of Radiology*, 84(03), 093–106. <https://doi.org/10.1055/S-0040-1716383>



- Pabón Carlos, & Solano Luis. (2020). *Necrosis avascular de cabeza femoral*.
<https://doi.org/10.31434/rms.v5i7.535>
- Paderno, E., Zanon, V., Vezzani, G., Giacon, T. A., Bernasek, T. L., Camporesi, E. M., & Bosco, G. (2021). Evidence-Supported HBO Therapy in Femoral Head Necrosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 2021, Vol. 18, Page 2888, 18(6), 2888.
<https://doi.org/10.3390/IJERPH18062888>
- Padilla, J. A., Gabor, J. A., Ryan, S. P., Long, W. J., Seyler, T. M., & Schwarzkopf, R. M. (2020). Total Hip Arthroplasty for Femoral Neck Fracture: The Economic Implications of Orthopedic Subspecialty Training. *The Journal of Arthroplasty*, 35(6), S101–S106.
<https://doi.org/10.1016/J.ARTH.2020.01.047>
- Pinilla-Gracia, C., Hernández-Fernández, A., Rodríguez-Nogué, L., Martínez-Aznar, C., Bejarano-Lasunción, C., Martín-Hernández, C., Pinilla-Gracia, C., Hernández-Fernández, A., Rodríguez-Nogué, L., Martínez-Aznar, C., Bejarano-Lasunción, C., & Martín-Hernández, C. (2020). Epidemiología, resultados clínicos y tasa de éxito en cirugía preservadora de cadera en la necrosis avascular de cabeza femoral. *Acta Ortopédica Mexicana*, 34(1), 16–21. <https://doi.org/10.35366/94618>
- Salameh, M., Moghamis, I. S., Kokash, O., & Ahmed, G. O. (2021). Hyperbaric oxygen therapy for the treatment of Steinberg I and II avascular necrosis of the femoral head: a report of fifteen cases and literature review. *International Orthopaedics*, 45(10), 2519–2523. <https://doi.org/10.1007/S00264-021-05120-3/TABLES/2>
- Salmón-González, Z., Anchuelo, J., Borregán, J., Real, A. Del, Sañudo, C., García Ibarbia, C., Pérez Nuñez, M., Riancho, J., Valero, C., Salmón-González, Z., Anchuelo, J., Borregán, J., Real, A. Del, Sañudo, C., García Ibarbia, C., Pérez Nuñez, M., Riancho, J., & Valero, C. (2020). Influencia del oxígeno a alta concentración en cámara hiperbárica sobre el metabolismo óseo. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 12(1), 28–31. <https://doi.org/10.4321/S1889-836X2020000100005>
- Sanchez Julio, Perez Gabriel, & Sanchez Edith. (2021). *Comportamiento epidemiológico de la fractura de cadera*. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-215X2021000100008
- Sosa Henríquez, M., Gómez de Tejada Romero, M., Sosa Henríquez, M., & Gómez de Tejada Romero, M. (2018). La fractura de cadera en Latinoamérica. ¿Se está aproximando a la experiencia europea de los últimos años? *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 10(2), 61–62. <https://doi.org/10.4321/S1889-836X2018000200001>
- Zhao, D., Zhang, F., Wang, B., Liu, B., Li, L., Kim, S. Y., Goodman, S. B., Hernigou, P., Cui, Q., Lineaweaver, W. C., Xu, J., Drescher, W. R., & Qin, L. (2020). Guidelines for clinical diagnosis and treatment of osteonecrosis of the femoral head in adults (2019 version). *Journal of Orthopaedic Translation*, 21, 100–110.
<https://doi.org/10.1016/J.JOT.2019.12.004>

Conflicto de intereses:

Los autores declaran que no existe conflicto de interés posible.

Financiamiento:

No existió asistencia financiera de partes externas al presente artículo.

Agradecimiento:

A los que con su apoyo son parte de este logro.

Nota:

El artículo no es producto de una publicación anterior.



Anexos

Anexo 1.

Ficha técnica de la aplicación de la Terapia Hiperbárica (TH) en ONCF, recopilación de medidas basadas en protocolos existentes.

Parámetro	Descripción
Presión aplicada	2.0 a 2.5 ATA (atmósferas absolutas). Es la presión más utilizada en estudios clínicos con pacientes con ONCF en estadios I y II.
Duración de cada sesión	Entre 60 y 90 minutos por sesión. La duración puede ajustarse según la tolerancia del paciente y el protocolo del centro clínico.
Frecuencia de sesión	5 sesiones por semana (de lunes a viernes). Este esquema se basa en protocolos hospitalarios estándar para terapias regenerativas.
Duración del tratamiento total	De 20 a 60 sesiones en total. Estudios como el de Salameh et al. (2021) aplicaron 30-40 sesiones con buenos resultados en estadios tempranos.
Tipo de cámara hiperbárica	Cámaras multiplaza (para varios pacientes a la vez) o monoplace (individual), dependiendo de los recursos del centro de tratamiento.
Oxígeno administrado	Oxígeno medicinal puro al 100%. Se administra a través de mascarilla o casco, en atmósferas presurizadas.
Indicaciones clínicas	ONCF estadio I o II (según clasificación de Ficat y Arlet); pacientes sin colapso óseo evidente.
Contraindicaciones absolutas	Neumotórax no tratado, tratamiento reciente con bleomicina, doxorubicina o cisplatino, infección viral activa, embarazo (relativa), epilepsia no controlada.
Efectos secundarios más comunes	Barotrauma del oído medio, sensación de fatiga, claustrofobia, visión borrosa transitoria, hipoglucemia en pacientes diabéticos.
Resultados esperados	Mejora de la oxigenación de tejidos isquémicos, incremento de la angiogénesis y regeneración ósea, reducción del dolor, retraso del colapso articular.

Fuente: (Paderno et al., 2021; Salameh et al., 2021). Ficha técnica de la aplicación de la Terapia Hiperbárica (TH) en ONCF, recopilación de medidas basadas en protocolos existentes.