



FACULTAD DE FARMACIA

Grado en Farmacia



RELACIÓN DE LA OSTEOPOROSIS Y EL DEPORTE EN MUJERES POSTMENOPÁUSICAS

Memoria de Trabajo Fin de Grado

Sant Joan d'Alacant

Febrero 2025

Autor: Elisa Casesnoves Chirivella

Tutor/es: Enrique Barraón Catalán

Modalidad: Revisión bibliográfica

ÍNDICE

RESUMEN	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUCCIÓN	5
1.1 Definición y clasificación de la osteoporosis.....	5
1.2 La densitometría ósea	7
1.3 Patogenia de la osteoporosis	8
1.4 El remodelado óseo.....	10
1.5 Marcadores bioquímicos del metabolismo óseo	14
1.6 Estrategias para la prevención y control de la osteoporosis.....	15
2. OBJETIVOS	18
3. MATERIALES Y MÉTODOS	19
3.1. Diseño	19
3.2. Estrategia de búsqueda.....	19
3.3. Criterios de inclusión y exclusión	19
3.4. Extracción de datos	20
4. RESULTADOS	22
4.1 Resultados del ejercicio sobre la densidad mineral ósea	22
4.2 Resultados sobre la eficacia de cada deporte.....	26
5. DISCUSIÓN	36
BIBLIOGRAFIA.....	39

RESUMEN

La osteoporosis es una enfermedad metabólica ósea que se caracteriza por una disminución de la densidad mineral ósea (DMO), lo que incrementa el riesgo de fracturas y afecta significativamente la calidad de vida de las personas que la padecen. Esta condición es especialmente prevalente entre las mujeres postmenopáusicas, debido a la disminución de los niveles de estrógenos, que desempeñan un papel crucial en la regulación del metabolismo óseo. A medida que las mujeres entran en la menopausia, la pérdida ósea se acelera, llevando a un aumento considerable en la incidencia de fracturas, que no solo generan dolor y discapacidad, sino que también resultan en complicaciones graves y un aumento de la mortalidad.

En este contexto, la actividad física emerge como una intervención fundamental en la prevención y tratamiento de la osteoporosis. Diversos estudios demuestran que el ejercicio regular no solo ayuda a mantener la DMO, sino que también mejora la fuerza muscular, el equilibrio y la coordinación, factores esenciales para reducir el riesgo de caídas y, por ende, de fracturas. Este trabajo analiza la eficacia de diferentes modalidades de ejercicio, incluyendo entrenamiento de resistencia, actividades aeróbicas y programas combinados, en la mejora de la densidad ósea en mujeres postmenopáusicas.

En la presente revisión, se exploran los resultados obtenidos en investigaciones recientes que abordan cómo distintas formas de actividad física influyen positivamente en la salud ósea. Se presta especial atención a los protocolos de ejercicio, la duración de las intervenciones y las características de las participantes, con el fin de proporcionar una visión integral sobre las mejores prácticas para el manejo de la osteoporosis a través del ejercicio. Además, se da importancia a la adherencia a programas de ejercicio a largo plazo y su impacto en la calidad de vida de las mujeres en esta etapa crucial de sus vidas.

Palabras clave: Osteoporosis postmenopáusica · densidad mineral ósea · deporte

ABSTRACT

Osteoporosis is a metabolic bone disease characterized by a decrease in bone mineral density (BMD), which increases the risk of fractures and significantly affects the quality of life of those who suffer from it. This condition is especially prevalent among postmenopausal women, due to the decrease in estrogen levels, which play a crucial role in regulating bone metabolism. As women enter menopause, bone loss accelerates, leading to a considerable increase in the incidence of fractures, which not only generate pain and disability, but also result in serious complications and increased mortality.

In this context, physical activity emerges as a fundamental intervention in the prevention and treatment of osteoporosis. Various studies show that regular exercise not only helps maintain BMD, but also improves muscle strength, balance and coordination, essential factors in reducing the risk of falls and, therefore, fractures. This paper analyses the efficacy of different exercise modalities, including resistance training, aerobic activities and combined programmed, in improving bone density in postmenopausal women.

In this review, we explore the results obtained in recent research addressing how different forms of physical activity positively influence bone health. Particular attention is paid to exercise protocols, duration of interventions and characteristics of participants, to provide a comprehensive overview of best practices for managing osteoporosis through exercise. In addition, we discuss the importance of adherence to long-term exercise programmed and their impact on women's quality of life at this crucial stage of their lives.

Key words: Postmenopausal osteoporosis · bone mineral density · sport

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Definición y clasificación de la osteoporosis

La osteoporosis es una enfermedad esquelética que se caracteriza por la debilidad en los huesos¹ y por una disminución de la densidad mineral ósea (DMO)², con una tasa claramente más alta en mujeres (1 de cada 3) que en hombres (1 de cada 5), especialmente después de los 50 años y con un incremento importante tras la menopausia. Por eso es importante encontrar formas de mejorar la salud de los huesos.

Los huesos sanos son el soporte para mantener las actividades normales de la vida³, sin embargo, la osteoporosis trae muchos riesgos de seguridad, amenazando la vida y la salud. El riesgo de osteoporosis aumenta significativamente en mujeres posmenopáusicas en relación con las mujeres menopáusicas, genera fragilidad ósea y riesgo de fracturas, especialmente en áreas de soporte de peso, como las vértebras, el cuello femoral y la muñeca.

Las fracturas están relacionadas con un aumento de morbilidad y generan dolor y deformidades. Además, pueden causar complicaciones respiratorias y gastrointestinales, y pueden llegar a desencadenar trastornos psicológicos serios como depresión y ansiedad.



Figura 1. Los tipos de hueso y nivel de osteoporosis⁴

La masa ósea alcanza su valor máximo alrededor de los 35 años⁵, cuando la tasa de síntesis y reabsorción ósea se equilibran, manteniendo constante la masa esquelética. Sin embargo, a partir de los 40 años, tanto hombres como mujeres experimentan una reducción lenta de la densidad ósea, que oscila entre

0,3 y 0,5% anual y puede llegar a causar una osteoporosis severa como se puede observar en la Figura 1. Por tanto, de manera fisiológica la DMO se reduce un 9-10% entre un año antes y tres años después de la menopausia. Este proceso es particularmente agudo en el hueso esponjoso y, posteriormente, en el hueso cortical.

En la Figura 2 se puede apreciar que el hueso se compone de hueso cortical (compacto), hueso trabecular (esponjoso) y médula ósea⁶. El hueso compacto forma la capa exterior del hueso. El hueso esponjoso se encuentra sobre todo en los extremos de los huesos y contiene médula roja, tiene una estructura esponjosa, con forma de nido de abeja, con puntales o trabéculas y contiene la médula ósea. La médula ósea se encuentra en el centro de la mayoría de los huesos y tiene muchos vasos sanguíneos. Hay dos tipos de médula ósea: roja y amarilla. La médula roja contiene células madre sanguíneas que se pueden convertir en glóbulos rojos, glóbulos blancos o plaquetas. La médula amarilla está compuesta, en su mayor parte, de grasa.

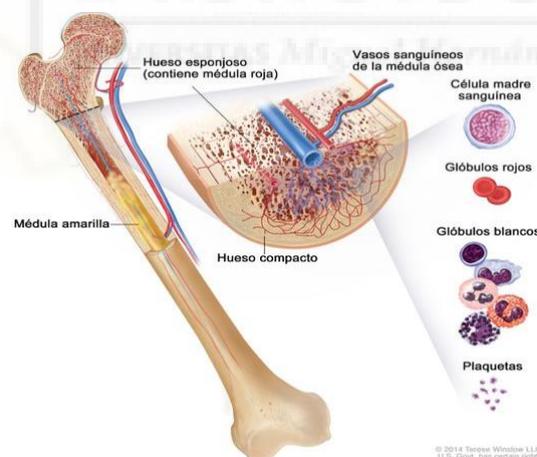


Figura 2. Anatomía del hueso⁶

La osteoporosis se clasifica en primaria y secundaria⁵. Por un lado, la osteoporosis primaria es el grupo más amplio, incluye casos sin enfermedad subyacente. Este grupo se encuentra dividido a su vez en, osteoporosis idiopática juvenil, que aparece entre los 8 y 14 años con dolor y fracturas repentinas. La osteoporosis del adulto joven, que afecta a hombres jóvenes y

mujeres premenopáusicas sin factores etiológicos claros, a veces asociada al embarazo. La osteoporosis postmenopáusica (tipo I) ocurre en mujeres de 51 a 75 años, con pérdida acelerada de hueso trabecular y fracturas frecuentes y la osteoporosis senil (tipo II) se presenta en mayores de 70 años debido a la disminución de la función osteoblástica y diversos factores como sedentarismo y déficit de vitamina D.

Por otro lado, la osteoporosis secundaria incluye casos que son consecuencias de otras enfermedades o tratamientos, como enfermedades endocrinas, gastrointestinales o genéticas.

Identificar adecuadamente estas condiciones permite una mejor intervención en la prevención y tratamiento de la osteoporosis.

1.2 La densitometría ósea

El diagnóstico de la osteoporosis se realiza a través de estudios de riesgo o tras una fractura, a través de la densitometría ósea⁷. Esta es una técnica no invasiva que mide la densidad ósea, principalmente a través de la absorciometría de rayos X de doble energía. Se realiza comúnmente en las áreas lumbar y femoral.

Es una técnica precisa y confiable, con baja radiación, pero también es costosa y requiere personal especializado. Aunque tiene alta especificidad para predecir fracturas, su sensibilidad es baja, lo que limita su utilidad como prueba de cribado, por tanto, para aumentar la sensibilidad se pueden usar reglas de predicción de la masa ósea como ORAI (osteoporosis risk assesment instrument) y la SCORE (la simple calculated osteoporosis risk estimation). Los principales datos para su interpretación son:

- Densidad Mineral Ósea (DMO): Medido en gramos por centímetro cuadrado (g/cm^2), es el parámetro más utilizado
- Contenido Mineral Óseo (BMC): Expresado en gramos.
- Z-Score: Número de desviaciones estándar (DE) respecto al promedio de la densitometría ósea en la misma población de edad y sexo.

- T-Score: La puntuación T indica el número de desviaciones estándar respecto al promedio de la población de 20 a 39 años del mismo sexo; se modifica con la edad.

La T-Score es un dato importante para el diagnóstico, ya que indica el riesgo de fractura. Se puede observar en la Figura 3 los criterios que utilizan para clasificar el riesgo de fractura en la T-Score.

T-Score	Interpretación	Riesgo de fractura
Entre +1 y -1 DE	Normal	Normal
Entre -1 y -2,5 DE	Osteopenia	Doble de lo normal
< de -2,5 DE	Osteoporosis	Cuádruple de lo normal
< de -2,5 DE y presencia de fractura relacionada con fragilidad ósea	Osteoporosis establecida	Por cada DE de disminución, el riesgo se multiplica por 1,5-2
<3,5 DE	Osteoporosis severa	

Figura 3. Interpretación de la densitometría ósea⁷

El umbral de fractura es un valor específico de densidad ósea, por debajo del cual el riesgo de sufrir fracturas no traumáticas (es decir, fracturas que ocurren sin un trauma significativo, como una caída) se incrementa considerablemente. Cuando la densidad ósea está por encima de este umbral, el hueso es generalmente más fuerte y menos propenso a fracturarse bajo condiciones normales. Sin embargo, al caer por debajo de este valor crítico, los huesos se vuelven más frágiles y susceptibles a fracturarse incluso con actividades diarias rutinarias que no deberían causar daño en huesos sanos, como realizar movimientos cotidianos. Por cada desviación estándar que disminuye el T-Score de la masa ósea, el riesgo relativo de sufrir una fractura aumenta aproximadamente 1,5 - 2 veces. Este concepto es importante para la evaluación y el manejo de la osteoporosis, ya que identifica a las personas en mayor riesgo y ayuda a guiar decisiones sobre prevención y tratamiento.

1.3 Patogenia de la osteoporosis

La resistencia de los huesos se manifiesta a través de la densidad mineral ósea (DMO) y la calidad ósea. El aumento de pérdida ósea está determinado por la edad, la menopausia y otros factores de riesgo, todo esto influye en una baja

densidad ósea que sumado a una pobre calidad de los huesos y una propensión a caídas produce un aumento de fracturas óseas³.

Además, es importante considerar todos factores que influyen en el riesgo de sufrir fracturas osteoporóticas al evaluar el riesgo de fracturas en los pacientes.

Algunos factores de riesgo que influyen en la osteoporosis son los factores clínicos, ya que, tras la menopausia, la pérdida ósea se acelera y continúa con el envejecimiento, lo que representa un riesgo adicional. Las mujeres posmenopáusicas con bajo peso, bajo porcentaje de grasa o bajo índice de masa corporal presentan un mayor riesgo de baja masa y pérdida óseas rápida, factores que contribuyen a la osteoporosis. Además, en mujeres de 65 años o más, niveles bajos de estrógeno o altos de globulina transportadora de hormonas sexuales aumentan el riesgo de fracturas de cadera y vertebrales, sin importar la densidad mineral ósea (DMO).

También influyen los factores médicos, ya que, algunos medicamentos pueden inducir o agravar la osteoporosis. Los glucocorticoides son la clase más comúnmente implicada, afectan tanto la cantidad como la calidad del tejido óseo y además de disminuir la masa ósea, estos tratamientos pueden ocasionar deterioros en la calidad ósea debido a un incremento en el recambio óseo y perforaciones en la estructura trabecular. Las mujeres posmenopáusicas con baja masa ósea son más propensas a alcanzar el umbral de fractura tras iniciar tratamiento con glucocorticoides que aquellas con DMO más alta³.

Los factores de comportamiento que incrementan el riesgo de desarrollar osteoporosis y fracturas atraumáticas. Uno de los más destacados es el tabaquismo, que está vinculado a una pérdida ósea acelerada y un mayor riesgo de fracturas de cadera en personas mayores, esto se atribuye en parte a una menor absorción intestinal de calcio. Un bajo nivel de actividad física se ha asociado con un mayor riesgo de fracturas en ciertos estudios. Otro de los factores que representa un riesgo para la pérdida ósea es el consumo semanal de alcohol superior a 207 ml³.

La ingesta de calcio en la dieta está moderadamente correlacionada con la densidad mineral ósea (DMO), especialmente en personas delgadas con un

índice de masa corporal bajo. La deficiencia de vitamina D es un factor de riesgo conocido para fracturas en ancianos, ya que provoca un aumento en el recambio óseo y reduce la absorción de calcio, llevando a la pérdida de masa ósea por hiperparatiroidismo secundario. Además, diversos medicamentos prescritos, como diuréticos y corticosteroides, pueden interferir con la absorción de calcio. Este impacto de la nutrición y la medicación resalta la importancia de una adecuada ingesta de nutrientes para la salud ósea en la población anciana³.

El último factor determinante es el genético. La raza, junto con la edad y el género, influye considerablemente en la incidencia de fracturas. En mujeres blancas y asiáticas mayores de 50 años, las tasas de fractura son las más altas, mientras que en hombres hispanos de 50 a 59 años se observa una tasa mayor que en las mujeres, si bien, a partir de los 60 años las mujeres tienen más tendencia a sufrir osteoporosis. Los hombres negros muestran tasas más altas que las mujeres negras hasta los 70 años, momento en el cual la tendencia se invierte. Además, las mujeres negras tienen una mayor tasa de mortalidad durante la hospitalización por fractura de cadera.

Por otro lado, el tamaño corporal también afecta el riesgo de fractura, siendo las mujeres de complejiones más pequeñas más propensas a sufrir fracturas de cadera, sin embargo, las mujeres con antecedentes familiares de fracturas de cadera tienen un riesgo significativamente mayor de sufrir la misma lesión.³

1.4 El remodelado óseo

A medida que los huesos envejecen⁸, experimentan una remodelación donde el tejido viejo es reemplazado por nuevo, proceso coordinado por osteoblastos (formadores de hueso) y osteoclastos (reabsorben hueso), formando unidades multicelulares básicas.

Durante la menopausia, la pérdida ósea se acelera debido a cambios como los factores hormonales, que son cruciales para equilibrar la formación y reabsorción ósea. Esto aumenta la actividad de los osteoclastos y disminuye la de los osteoblastos, resultando en menor densidad mineral ósea (DMO) y un mayor riesgo de osteoporosis.

Como se observa en la Figura 4, el remodelado óseo es un proceso continuo que permite la renovación del tejido óseo a lo largo de la vida. Este proceso se divide en cinco fases: la fase quiescente, donde el hueso está en reposo; la fase de activación, en la que se activa la superficie ósea y se atraen osteoclastos; la fase de reabsorción, donde los osteoclastos disuelven la matriz mineral y osteoide, conlleva la maduración de los osteoclastos (osteoclastos activos), la duración de esta fase es aproximadamente de 2 a 4 semanas; la fase de formación, donde los pre-osteoblastos se agrupan, comienzan a sintetizar nueva matriz ósea resorción y generan señales que inician la formación de hueso, a diferencia de la fase anterior esta es mucho más larga, tiene una duración de 4 a 6 meses; finalmente, la fase de mineralización, que completa la formación del nuevo tejido óseo, durante esta fase, células madre mesenquimales se diferencian en osteoblastos funcionales para formar matriz y la superficie ósea vuelve a su estado quiescente. Este ciclo de remodelado es esencial para mantener la salud ósea, adaptándose a las necesidades del organismo y respondiendo a factores mecánicos y metabólicos.

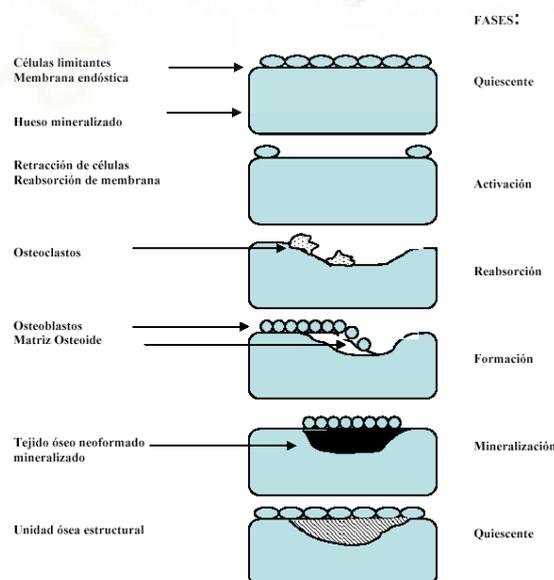


Figura 4. Esquema de las fases del remodelado óseo ⁹

La osteoclastogénesis¹⁰ está regulada por dos vías principales: la RANK/RANKL (receptor activador del factor nuclear κ B y su ligando) y la vía M-CSF/c-FMS (factor estimulador de colonias de macrófagos y su receptor). Por un lado, la PTH y el calcitriol estimulan la síntesis de RANKL en los osteoblastos. La activación de RANK está contrarrestada por la osteoprotegerina (OPG), la cual es un antagonista del receptor RANKL. Por otro lado, el sistema M-CSF/c-FMS, su unión conduce a la activación de la vía MAPK (vía de las proteínas cinasas activadas por mitógenos) que a su vez induce la formación de RANKL y activa la AKT/mTOR, vía implicada en la supervivencia de los osteoclastos.

En la Tabla 1 se pueden observar los diferentes factores reguladores del remodelado óseo, estos actúan interrelacionados entre sí para un mejor balance de la reabsorción y formación ósea, existen factores hormonales, locales y genéticos entre otros.

Por un lado, los **factores hormonales**⁹ desempeñan un papel crucial en la fisiología ósea, siendo varias de ellas fundamentales para el desarrollo y mantenimiento del esqueleto. Las hormonas tiroideas tienen efectos duales, estimulando tanto la formación de la matriz ósea como su reabsorción, lo que puede llevar a problemas como la talla baja en casos de hipotiroidismo. La hormona paratiroidea (PTH), regula la homeostasis del calcio sangre, esto afecta la remodelación ósea, su acción puede favorecer la formación ósea. La calcitonina, producida en el tiroides, inhibe la reabsorción ósea, aunque su efecto es temporal. La vitamina D3 es esencial para la absorción de calcio y la mineralización ósea. Los andrógenos y estrógenos también son vitales, ya que los andrógenos estimulan la formación ósea y los estrógenos regulan tanto la formación como la reabsorción, siendo clave en la salud ósea de las mujeres postmenopáusicas, ya que, bloquean la resorción ósea inhibiendo la síntesis de las citoquinas proinflamatorias IL-1, IL-6 y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) por parte de los osteoblastos e inhibiendo el factor nuclear kappa B (NF- κ B). Además, también disminuye la ratio RANKL/OPG previniendo la resorción ósea. La progesterona tiene un efecto anabólico similar, mientras que la insulina y los glucocorticoides afectan la síntesis de la matriz ósea. Finalmente, la hormona de

crecimiento (GH) actúa directamente sobre los osteoblastos, promoviendo su actividad y, por ende, la salud ósea.

Por otro lado, los **factores locales** incluyen factores de crecimiento⁹, citoquinas y proteínas de la matriz ósea. Estos elementos actúan como moduladores de la actividad celular, afectando el crecimiento, la diferenciación y la proliferación de las células óseas.

Dentro de los factores de crecimiento encontramos el factor de crecimiento insulínico (IGF), el factor de crecimiento tumoral β (TGF- β), el factor de crecimiento de plaquetas (PDGF), proteínas morfogénicas óseas (BMPs), hormona paratiroidea (PTH), hormona tiroidea, insulina, prolactina y vitaminas (vitamina D). Las BMPs y el TGF- β interaccionan con otras moléculas de señalización como el factor de crecimiento básico del fibroblasto (BFGF), la vía de señalización Hedgehog (Hh) y el IGF-1, regulando la diferenciación y actividad de los osteoclastos.

Las proteínas de la matriz influyen en la diferenciación celular dentro de la matriz, el colágeno tipo I actúa como un marcador temprano que regula las células osteoprogenitoras, mientras que la fosfatasa alcalina participa en la proliferación, migración y diferenciación de células osteoblásticas.

Las citoquinas son polipéptidos clave en la respuesta inmune, inflamación y hematopoyesis. En el hueso, la Interleuquina 1 (IL-1) y la Interleuquina 6 (IL-6) estimula la reabsorción osteoclástica directa e indirectamente. La Interleuquina 11 (IL-11) induce la osteoclastogénesis en la médula ósea y las prostaglandinas (PG) favorecen la reabsorción ósea, participando en la destrucción ósea en enfermedades periodontales.

Tabla 1: Descripción del proceso de remodelado óseo y los factores que influyen⁹

Proceso/Factores	Descripción
Remodelado óseo	Proceso continuo de renovación del tejido óseo, Las principales células involucradas son los osteoclastos, que son responsables de la resorción del hueso; los osteoblastos, que se encargan de formar nuevo tejido óseo; y los osteocitos, que son células maduras

Fases remodelado	Quiescencia, Activación, Resorción (2-4 semanas), Formación (4-6 meses), Mineralización.	
Vías de Regulación	RANK/RANKL (PTH y calcitriol estimulan, OPG contrarresta), M-CSF/c-FMS (activa vía MAPK e induce RANKL).	
Factores reguladores del remodelado óseo	Hormonal	Hormonas tiroideas (efectos duales), PTH (homeostasis del calcio), Calcitonina (inhibe resorción), Vitamina D3 (absorción de calcio), Andrógenos (formación ósea), Estrógenos (Bloquean la resorción ósea inhibiendo citoquinas proinflamatorias, disminuyen la ratio RANKL/OPG.), Progesterona (anabólico), Insulina/Glucocorticoides (síntesis de matriz), GH (activa osteoblastos).
	Local	- Factores de crecimiento (IGF, TGF- β , PDGF, BMPs). - Proteínas de la matriz ósea (moduladores de actividad celular) - Citoquinas, IL-1 (estimula reabsorción osteoclástica), IL-6 (estimula reabsorción ósea), IL-11 (induce osteoclastogénesis) y las Prostaglandinas (favorecen reabsorción ósea).

1.5 Marcadores bioquímicos del metabolismo óseo

Los marcadores bioquímicos del metabolismo del tejido óseo (BTM) son interesantes desde un punto de vista clínico para evaluar el proceso de remodelado, ya que, permite observar qué tipo de proceso¹¹, formación o resorción, se está llevando a cabo. Consecuentemente, se pueden establecer diagnósticos tempranos de cualquier alteración en el metabolismo óseo. No obstante, se debe tener en cuenta que los niveles de BMT están en cambio constante dependiendo del estado hormonal, la edad, la época del año o incluso la hora del día.

En cuanto a los marcadores indicativos de resorción ósea estarían ¹¹: la hidroxiprolina (HYP), la piridolna (PYD), la deoxipiridinolina (DPD), el telopéptido N-terminal de la cadena alfa del colágeno tipo 1 (Ntx), el telopéptido C-terminal de la cadena alfa del colágeno tipo 1 (Ctx), el carboxi-terminal telopéptido del colágeno tipo 1 (ICTP), el péptido helicoidal del colágeno alfa tipo 1 (HELP), la

isoforma 5b de la fosfatasa ácida tartrato-resistente (TRAP5b), la catepsina K, la esclerostinas (Scl) y la proteína DKK1.

A continuación, en la Tabla 2 se diferencian los principales marcadores bioquímicos indicativos de formación ósea son: la fracción ósea de fosfatasa alcalina (BAP), la osteocalcina (OC), el péptido aminoterminal de procolágeno tipo 1 (P1NP), el propéptido carboxi-terminal de procolágeno 1 (P1CP), RANKL y la osteoprotegerina5.

Tabla 2: Principales marcadores bioquímicos indicativos de formación ósea ¹¹

Formación osea	
Marcadores bioquímicos	Función
Fracción ósea de fosfatasa alcalina (BAP)	Indica la actividad osteoblástica y la formación de hueso.
Osteocalcina (OC)	Refleja la mineralización y el metabolismo óseo.
Péptido aminoterminal de procolágeno tipo 1 (P1NP)	Indica la formación de colágeno y la actividad osteoblástica.
Propéptido carboxi-terminal de procolágeno 1 (P1CP)	Mide la formación de colágeno y la actividad de los osteoblastos.
RANKL (Ligando del receptor activador factor nuclear kappa B)	Estimula la formación de osteoclastos y la resorción ósea.
Osteoprotegerinas (OPG)	Inhibe la formación de osteoclastos al bloquear RANKL, promoviendo la formación ósea.

1.6 Estrategias para la prevención y control de la osteoporosis

Con el envejecimiento y la disminución de la actividad física, se produce una pérdida de masa ósea, aumentando el riesgo de osteoporosis y fracturas.

Por un lado, la terapia hormonal sustitutiva (THS)¹², es una alternativa para la prevención de la osteoporosis. La terapia hormonal sustitutiva (THS) facilita la reducción de la remodelación ósea, permitiendo que la formación ósea supere a la remodelación, lo que se traduce en un aumento de la masa ósea durante los primeros dos años de tratamiento. La evidencia muestra que la THS es más efectiva en la preservación de la masa ósea en las vértebras y trocánter femoral. Sin embargo, la interrupción del tratamiento provoca una pérdida ósea rápida,

similar a la de mujeres no tratadas, lo que resalta la importancia de iniciar la THS en los primeros años de la menopausia, manteniéndola idealmente durante un periodo prolongado. Aunque es posible iniciar la THS más tarde, los riesgos de efectos adversos, como el cáncer de mama, limitan su uso en mujeres mayores. Además, no todas las pacientes responden a la misma dosis de tratamiento, y factores como el tabaquismo pueden disminuir la efectividad de los estrógenos.

Por otro lado, actualmente se promueven alternativas como el ejercicio físico combinado con cambios a un estilo de vida saludable y una dieta rica en calcio y vitamina D, ya que estos nutrientes son esenciales para la formación y mantenimiento del tejido óseo. Además, el ejercicio contribuye a mejorar el equilibrio y la coordinación, lo que puede disminuir el riesgo de caídas, que es una de las principales causas de fracturas.

El protocolo de entrenamiento de ejercicio multimodal supervisado implica la combinación de diferentes tipos de ejercicios, tales como aeróbicos, de fuerza, flexibilidad y equilibrio, bajo la supervisión de un profesional.

Este enfoque tiene como objetivo mejorar la salud general, la condición física y el rendimiento, adaptándose a las necesidades individuales, además tiene un efecto positivo sobre la densidad mineral ósea de la columna lumbar y el rendimiento muscular en mujeres posmenopáusicas.

Algunos ejemplos de tipos de deporte o entrenamiento son:

- Caminar es el entrenamiento aeróbico más popular entre las personas mayores¹³, ya que es una actividad física de bajo impacto, seguro, fácil de realizar. y beneficioso para la salud.
- Ejercicio articulares ⁸, se centran en mejorar la movilidad y flexibilidad de las articulaciones. Incluyen movimientos suaves y controlados que reducen el riesgo de lesiones.
- El Tai Chi¹⁴, es una práctica ligera y suave que combina movimientos dinámicos y estáticos, enfatizando el control del ritmo respiratorio y la conciencia. Trabaja los grupos musculares del núcleo del tronco.
- La natación es un ejercicio de bajo impacto que trabaja varios grupos musculares ¹⁵, mejorando la resistencia, la fuerza, y la flexibilidad.

Además, es accesible para personas de todas las edades y niveles de habilidad.

- El ejercicio aeróbico con step es una forma de entrenamiento cardiovascular que utiliza una plataforma elevada, conocida como "step", para realizar una variedad de movimientos rítmicos y dinámicos

Finalmente, la menopausia forma parte de la etapa de la vida de las mujeres que está marcada por cambios hormonales que aceleran la pérdida ósea y un desequilibrio del remodelado óseo, haciendo que la prevención y el manejo de la osteoporosis sean cruciales. Para su prevención es importante explorar la relación entre la osteoporosis y el deporte.



2. OBJETIVOS

El propósito principal de este trabajo es analizar la relación de la actividad física y la prevención de la osteoporosis en mujeres postmenopáusicas para sugerir métodos de intervención basados en el ejercicio.

Objetivo secundario encontrar las actividades físicas más beneficiosas para mujeres postmenopáusicas.



3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Diseño

Para la realización de este trabajo se llevó a cabo una revisión bibliográfica con uso de la base de datos MeSH

3.2. Estrategia de búsqueda

Primero se realizó una búsqueda generalizada respecto a la osteoporosis postmenopáusica prevención y control, relacionado con el deporte. En esta primera búsqueda los artículos obtenidos aportaron una visión general de los tipos de osteoporosis, así como los factores desencadenantes. La ecuación de búsqueda empleada fue: (("Osteoporosis, Postmenopausal"[Mesh]) AND "Sports"[Mesh]). Se utilizaron los filtros: *Human, female* y *Middle Aged + Aged: 45+ years*. No se especificó el tipo de estudio ya que el objetivo era tener una primera visión global, de modo que se consultaron revisiones y ensayos. Tras esta primera búsqueda se obtuvo un resultado de 9 artículos.

A continuación, se llevó a cabo una búsqueda más específica a cerca de la densidad mineral ósea y el deporte. Para ello se empleó la siguiente ecuación de búsqueda: (("Osteoporosis, Postmenopausal"[Mesh]) AND "Sports"[Mesh]) AND "Bone Density"[Mesh]. Utilizando los filtros: *human, female, last 10 years* y *Middle Aged + Aged: 45+ years*. Con esta búsqueda se obtuvo un total de 16 artículos.

También se utilizaron para esta revisión referencias de estudios más completos, como MenoGuía AEEM, Osteoporosis Segunda edición.

3.3. Criterios de inclusión y exclusión

Respecto a los artículos incluidos para realizar la revisión, se buscó aquellos que comparaban diferentes tipos de deportes para prevención de la osteoporosis postmenopáusica con mujeres cuyo último ciclo menstrual hubiese sido como mínimo 12 meses antes del inicio del estudio. Estudios con protocolos controlados aleatorios con, al menos, un grupo experimental, versus un grupo control sedentario. Estudios realizados en humanos que utilizaron como medida de resultado el índice de DMO y también se buscó que evaluaran tanto eficacia

como seguridad. No obstante, esta última no estaba presente en todos los artículos incluidos en esta revisión.

Los artículos excluidos fueron aquellos estudios que utilizaron sustancias farmacológicas o sustancias homeopáticas, también aquellos que se centraban en el consumo específico de ciertos alimentos o tenían un enfoque dietético. Estudios en los que participaban mujeres premenopáusicas o hombres y también estudios en los que las mujeres participantes presentaban patología preexistente diferente a osteopenia u osteoporosis.

3.4. Extracción de datos

Tras realizar la búsqueda, con las palabras clave “*postmenopausal osteoporosis*” y “*sport*” e indicar los filtros: “*human, female, in the last 10 years y Middle Aged + Aged: 45+ years*”, se obtuvieron un total de 16 artículos considerados potencialmente elegibles.

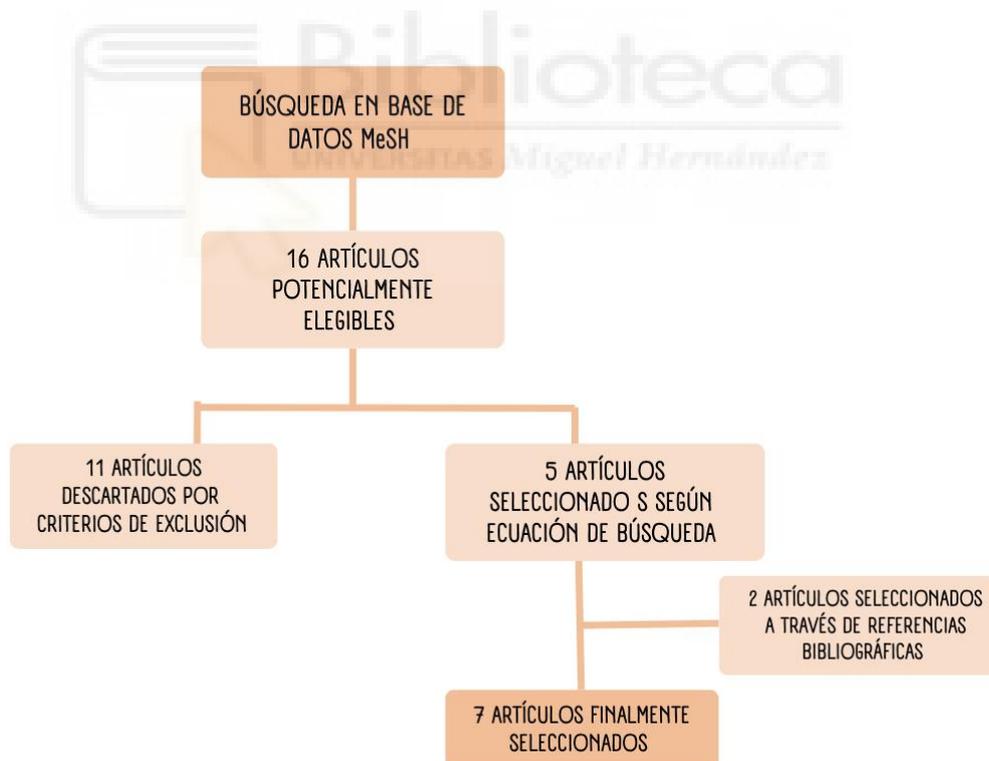


Figura 5. Algoritmo explicativo de los resultados de búsqueda, con los criterios de inclusión y exclusión y selección final tras elección por ecuación de búsqueda y a través de referencias bibliográficas.

Tras su revisión y la aplicación de los criterios de inclusión y exclusión, se seleccionaron finalmente un total de 7 artículos. Sin embargo, durante la revisión de estos, se encontraron referencias en ellos que resultaron de interés para realizar la revisión, por lo que se añadieron 2 más provenientes de referencias bibliográficas, obteniéndose así 9 artículos para realizar la revisión.



4. RESULTADOS

A continuación, se resumen los principales resultados obtenidos a partir de los artículos seleccionados en el trabajo sobre la eficacia de la actividad física en el tratamiento de osteoporosis postmenopáusica.

4.1 Efectos del ejercicio sobre la Densidad Mineral Ósea (DMO) en mujeres postmenopáusicas

En el estudio llevado a cabo por Keyvan Hejazi, Roya Askari y Martín Hofmeister², realizaron un metaanálisis para investigar los efectos del ejercicio sobre la densidad mineral ósea (DMO). Se incluyeron 53 estudios, los cuales evaluaron 2896 mujeres postmenopáusicas de 60 a 82 años, 1613 formaron parte del grupo de intervención y 1253 mujeres del grupo de control. El periodo de intervención de los estudios varió entre 4 meses y 2 años, con un rango de 2 a 5 sesiones de entrenamiento por semana, cada una con una duración de 10 a 90 minutos.

Los criterios de inclusión requerían que las participantes no cumplieran con las pautas de actividad física (menos de 2 horas por semana) y que no estuvieran en terapia de reemplazo hormonal (THR) ni consumieran suplementos de calcio o vitamina D. También se consideró que las participantes no hubieran estado involucradas en un programa de entrenamiento físico en los 6 meses previos.

Se compararon un grupo control, sedentario, con diferentes grupos de intervención que incluían actividades como deportes aeróbicos, entrenamiento de resistencia o combinados (aeróbico + resistencia).

La DMO se midió en diferentes partes del cuerpo (cuello femoral, columna lumbar, cadera total y trocánter) mediante absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA) o absorciometría de fotón dual (DPA) al inicio y al final del estudio.

A continuación, en la Tabla 3 se muestra una tabla resumen de los resultados de este estudio en donde se observa un aumento significativo en la DMO del cuello femoral (DMP=0,03 g/cm²; $p= 0,006$) en los grupos que realizaron entrenamiento combinado mientras que, en los entrenamientos de resistencia, y ejercicio aeróbico no mostraron cambios significativos (DMP=0,01 g/cm²; $p = 0,0001$)

Para la columna lumbar, el entrenamiento aeróbico y el combinado también presentaron aumentos significativos en la DMO, con incrementos de 0,03 g/cm² ($p=0,001$) y 0,02 g/cm², respectivamente.

Con relación a los ejercicios realizados para mejorar la densidad mineral ósea de la cadera total solo el ejercicio combinado (aeróbico + resistencia) logró demostrar un aumento de un 0,02 g/cm² ($p=0,01$)

Por último, en el trocánter, la diferencia entre los grupos fue estadísticamente significativo, ya que, el ejercicio que combina el ejercicio aeróbico y el entrenamiento de resistencia aumentaron la DMO en un 0,05 g/cm² ($p= 0,002$). Los resultados se resumen en la Tabla 3.

Tabla 3. Ganancias en densidad ósea a nivel del cuello femoral, columna lumbar, del total de la cadera y del trocánter tras 2 años de ejercicio físico

Ejercicio	Incremento de la densidad mineral ósea (g/cm ²)			
	Cuello femoral	Columna lumbar	Cadera	Trocánter
Aeróbico	0,01	0,03	0,01	0,01
Resistencia	0,01	0,01	0,01	0,01
Combinado	0,03	0,02	0,02	0,05

En el estudio de Wolfgang Kemmler¹⁶, Simon von Stengel y Matthias Kohl se centraron en la relación de la frecuencia de ejercicio (ExFreq) con la densidad mineral ósea de la columna lumbar y del cuello femoral e identificar la cantidad mínima efectiva que influía en la salud ósea. A lo largo de 16 años, se realizó un seguimiento a los 4, 8, 12 y 16 años del Estudio de Prevención de osteoporosis y Aptitud Física de Erlangen (EFOPS).

Se eligieron 137 mujeres posmenopáusicas tempranas con osteopenia tras aplicar los criterios de exclusión que incluían: fracturas de bajo traumatismo, osteoporosis secundaria, uso de medicación (incluida la TRH) o enfermedades que afecten al metabolismo óseo, y enfermedades inflamatorias o eventos cardiovasculares.

A todas las participantes se les facilitaron suplementos para asegurar una ingesta mínima de 1500 mg/día de calcio (en los primeros 10 años) y 500 UI/día de vitamina D.

De las 137 mujeres, 51 se unieron al grupo control sin entrenamiento (GC) y 86 realizó un programa intenso de ejercicio multipropósito dirigido particularmente a los huesos, sin embargo 31 se perdieron durante el seguimiento, se identificó que 27 de los 86 participantes iniciales del grupo de ejercicio (GE) y 5 de los 51 del grupo control (GC) se perdieron. De estas pérdidas, tres mujeres estuvieron ausentes durante la evaluación final y tres participantes fallecieron. Además, 21 mujeres interrumpieron la intervención por diversas razones, como mudanzas (6 participantes), enfermedades graves o lesiones no relacionadas con el estudio (6 participantes), y pérdida de interés o aversión al protocolo de ejercicio (9 participantes). Aproximadamente dos tercios de las interrupciones ocurrieron en los primeros dos años del estudio. Cuatro participantes del GE y tres del GC fueron excluidos del análisis debido a tratamientos con medicamentos. En total, 55 participantes fueron incluidos en el análisis final.

Para los intervalos del estudio, el protocolo de ejercicios EFOPS utilizó una estrategia de alta intensidad, implementando semanalmente dos sesiones grupales supervisadas y dos sesiones de entrenamiento en casa.

Por un lado, las sesiones grupales eran de 65 minutos, incluían 20 minutos de baile aeróbico de alta intensidad, ejercicios de salto y entrenamiento de resistencia en máquinas y con pesas. Se alternaron periodos de alta intensidad con otros de menor intensidad, pero mayor volumen. A partir del año 8, se redujo el impacto de los ejercicios y se introdujeron movimientos más desafiantes para el equilibrio y la coordinación. La complejidad y el impacto de los saltos se ajustaron tras el año 12 para adaptarse a los participantes.

Por otro lado, las sesiones de entrenamiento en casa eran de 20 a 25 minutos y se implementaron cinco meses después del inicio del estudio. Comenzaban con un calentamiento de 5 a 10 minutos que incluía variaciones de carrera en el mismo lugar y saltos a la comba. Luego, ejercicios de resistencia isométrica y dinámica durante 10 a 15 minutos, seguidos de 5 minutos de estiramiento y flexibilidad, en línea con las sesiones grupales anteriores. Cada 3-6 meses, los ejercicios se actualizaban con opciones más desafiantes para fomentar la progresión y garantizar el cumplimiento de los participantes.

La cantidad de actividades de alto impacto disminuyó después del año 8, para incorporar movimientos más desafiantes para el equilibrio estático y dinámico. Además, la complejidad y el impacto de los ejercicios de salto se ajustaron tras el año 12, mientras que el protocolo de ejercicios de resistencia se mantuvo sin alteraciones.

En la figura 4 se pueden observar los cambios en la frecuencia de ejercicio (ExFreq), ya que, en los primeros 2 años las tasas de asistencia disminuyeron significativamente $2,41 \pm 0,41$ ($p < 001$) sesiones por semana y después de 4 años pasaron a $2,25 \pm 0,39$, manteniéndose estables en $2,24 \pm 0,38$ hasta el año 8. Durante el año 12, la frecuencia promedió fue $2,19 \pm 0,39$, con una ligera disminución en los últimos dos años a $2,15 \pm 0,37$ sesiones/semana. La frecuencia de ejercicio promedio a lo largo de 16 años fue de $2,24 \pm 0,35$ sesiones por semana, con una variabilidad individual de 1,31 a 3,01 sesiones por semana.

Ningún participante interrumpió la intervención por más de 3 meses, resultando en una tasa. En consecuencia, la tasa anual mínima de frecuencia de ejercicio (ExFreq) fue de 1,02 sesiones/año, la tasa individual más alta fue de 3,33 sesiones/año. Sin embargo, los cambios en la frecuencia total estaban relacionados con la reducción de las sesiones de entrenamiento en casa, registrando 0,97 sesiones por semana en primer y segundo año frente a 0,63 en los años en los dos últimos años.

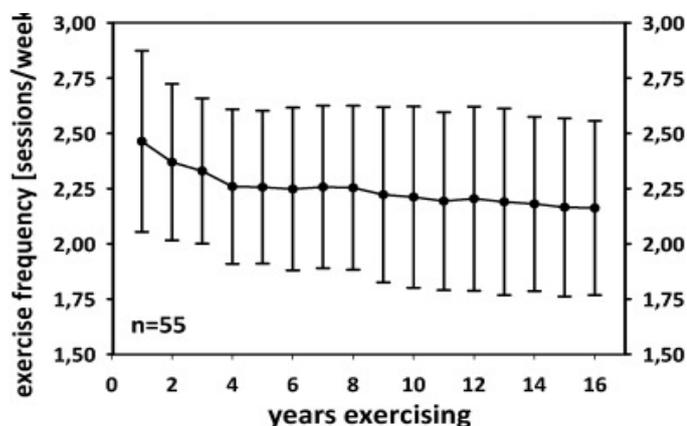


Figura 4. Desarrollo de la frecuencia de deporte a lo largo de 16 años de estudio¹⁶

Finalmente se aplicó un análisis de regresión lineal de efectos mixtos con la DMO (g/cm^2) como variable dependiente con la inclusión de los 16 años de estudio. Por tanto, se pudo concluir que a lo largo del estudio hubo cambios en la densidad mineral ósea de la columna lumbar (DMO-LS), esta disminuyó en el grupo de ejercicio (GE) un $1,5 \pm 5,0\%$. En comparación, el grupo control (CG) mostró una disminución del $5,8 \pm 6,3\%$. Las reducciones en la cadera del GE fueron más marcadas, promediando un $5,7\%$ (GE); IC del 95%: 4,8-6,7%, frente al $9,7\%$ del CG; IC del 95%: 8,1-11,2%. Esta diferencia entre el grupo que realizó el ejercicio y el grupo control fue estadísticamente significativa. Además, es relevante mencionar que no se observaron períodos de mayor reducción ósea en la columna lumbar, mientras que las disminuciones en la cadera fueron más significativas entre los años 4 y 12.

4.2 Impacto del ejercicio físico en la salud ósea

En el estudio llevado a cabo por Chusairil Pasa⁸ y colaboradores se analizó los efectos de caminar y ejercicios articulares para la mejora de la remodelación ósea en mujeres de 50 a 65 años que no habían tenido la menstruación durante al menos 12 meses consecutivos.

Las 42 mujeres que participaron en el estudio se dividieron en tres grupos cada uno compuesto por 12 mujeres, los grupos fueron: caminar, ejercicio de huesos y articulaciones y uno control.

Los criterios de exclusión fueron mujeres que presentaban amenorrea por la extirpación del útero y los ovarios, mujeres con condiciones como tuberculosis, diabetes, enfermedades cardiovasculares, hipertensión, trastornos de la tiroides, uso prolongado de glucocorticoides, consumo de alcohol, tabaquismo, antecedentes de fracturas, osteoporosis secundaria o artritis reumatoide.

La intervención duró 8 semanas, las sesiones se realizaron tres veces por semana durante 30 minutos.

En el grupo de caminatas, los participantes realizaron una intervención que consistía en caminar 1,6 km y en el grupo de ejercicios para las articulaciones de los huesos, se llevaron a cabo movimientos articulares dirigidos a los brazos

y piernas. En contraste, el grupo de control no participó en ninguna actividad física estructurada.

A continuación, se puede observar una tabla resumen que muestra como el estudio evaluó antes y después de la intervención el efecto de caminar y hacer ejercicio sobre los niveles de estrógeno, PTH, RANKL, TNF- α y DMO, en contraste con el grupo control. Durante el análisis de resultados se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) de una vía para determinar si existían diferencias estadísticamente significativas entre las medias varios grupos para evaluar las diferencias en los niveles de marcadores de remodelación ósea

En el grupo de caminata, el nivel medio de estrógeno aumentó en 6,46 ng/L ($p = 0,026$). Además, los niveles de RANKL disminuyeron en 3,93 pg/mL ($p = 0,019$). El nivel medio de PTH también mostró una reducción significativa de 17,04 pg/mL ($p = 0,022$) y las puntuaciones de densidad mineral ósea (DMO) aumentaron de -2,72 a -2,32 ($p = 0,001$).

En el grupo de ejercicio articular, los niveles de estrógeno aumentaron en 6,59 ng/L, de 25,56 ng/L a 32,15 ng/L ($p = 0,023$). Los niveles de RANKL disminuyeron en 9,18 pg/mL ($p = 0,002$). La reducción en el nivel medio de PTH fue de 4,49 pg/mL ($p = 0,048$) y las puntuaciones de DMO también aumentaron de -2,50 a -2,22 ($p < 0,001$).

Sin embargo, el grupo control experimentó una disminución de 2,37 ng/L en los niveles de estrógeno, de 24,32 ng/L a 21,95 ng/L, que no fue estadísticamente significativa ($p = 0,300$). Los niveles de RANKL mostraron una disminución de 0,41 pg/mL que tampoco fue significativa ($p = 0,772$). Los niveles de TNF- α aunque también disminuyeron, tampoco lo hicieron de manera estadísticamente significativa, pasando de 35,53 ng/L a 30,01 ng/L ($p = 0,052$). Por último, la reducción en el nivel medio de PTH de nuevo volvió a no ser estadísticamente significativa ($p = 0,925$).

Las actividades físicas moderadas, como caminar y los ejercicios para las articulaciones, estimularon la producción de estrógeno, que fue esencial para la salud ósea y el metabolismo en mujeres menopáusicas. Además, estos ejercicios mejoraron la circulación, aumentaron el volumen sanguíneo y

equilibraron la actividad de osteoblastos y osteoclastos, lo que resultó en una mejora en la densidad ósea al elevar los niveles de estrógeno.

Tabla 3. Comparaciones de los niveles de estrógeno, RANKL, TNF- α , PTH y DMO antes y después de la intervención

Resultado		Grupos		
		Caminar	Ejercicio articular	Control
Estrógeno (ng/L)	inicio	27,44 \pm 11,33	25,56 \pm 7,37	24,2 \pm 7,69
	final	33,90 \pm 14,46	32,15 \pm 10,66	21,95 \pm 11,49
RANKL (pg/ml)	inicio	31,79 \pm 8,56	36,44 \pm 16,62	30,26 \pm 4,01
	final	27,86 \pm 10,26	27,26 \pm 10,14	29,85 \pm 3,95
TNF- α (ng/l)	inicio	35,53 \pm 17,85	37,42 \pm 15,86	29,40 \pm 8,83
	final	30,01 \pm 14,46	32,93 \pm 12,03	30,76 \pm 7,59
PTH (pg/ml)	inicio	151,87 \pm 39,84	175,91 \pm 57,33	142,61 \pm 26,74
	final	134,83 \pm 32,98	151,37 \pm 77,05	141,99 \pm 21,04
DMO T-Score	inicio	-2,72 \pm 0,53	-2,50 \pm 0,49	-1,92 \pm 0,50
	final	-2,32 \pm 0,54	-2,22 \pm 0,50	-1,90 \pm 0,50

Por otro lado, se realizó un análisis post-hoc, es decir, un conjunto de pruebas estadísticas que se realizaron después del análisis de varianza (ANOVA) al encontrar una diferencia significativa entre los grupos. Su propósito fue identificar específicamente cuáles grupos eran diferentes entre sí, ya que el **ANOVA solo** indicaba que al menos un grupo era diferente, pero no proporcionaba detalles sobre cuáles eran esos grupos. El análisis post-hoc fue crucial para obtener una comprensión más profunda de los datos y para tomar decisiones informadas basadas en los resultados obtenidos.

En la figura 5 se muestra un análisis post-hoc de la densidad mineral ósea (DMO) y los niveles de estrógeno en dos secciones: (A) compara diferentes niveles de DMO antes de la intervención entre grupos, y (B) compara los niveles de estrógeno después de la intervención.

En la sección A de la figura 5, se evaluaron las diferencias en los niveles de DMO entre los grupos de intervención y el grupo de control. En la comparación entre el grupo de caminata y el grupo de ejercicio en las

articulaciones, no se encontraron diferencias significativas en los niveles de DMO (MD: -0.214; $p=0.630$). Sin embargo, al comparar el grupo de caminata con el grupo de control, se observó una diferencia significativa en los niveles de DMO (MD: -0.792; $p=0.001$), indicando que el grupo de caminata tuvo una DMO significativamente menor que el grupo de control. Por otro lado, al comparar el grupo de ejercicio en las articulaciones con el grupo de control, también se encontró una diferencia significativa (MD: -0.578; $p=0.015$), sugiriendo que el grupo de ejercicio en las articulaciones tuvo una DMO menor en comparación con el grupo de control.

En la sección B, se evaluaron las diferencias en los niveles de estrógeno entre los grupos de intervención y el grupo de control. En la comparación entre el grupo de caminata y el grupo de ejercicio en las articulaciones, no hubo diferencias significativas en los niveles de estrógeno ($p=0.818$). Sin embargo, al comparar el grupo de caminata con el grupo de control, se observó una diferencia significativa ($p=0.016$), lo que sugiere que el grupo de caminata tuvo niveles de estrógeno distintos en comparación con el grupo de control. Por otro lado, al comparar el grupo de ejercicio en las articulaciones con el grupo de control, también se encontró una diferencia significativa ($p=0.014$), indicando que los niveles de estrógeno en el grupo de ejercicio en las articulaciones fueron diferentes de los del grupo de control.

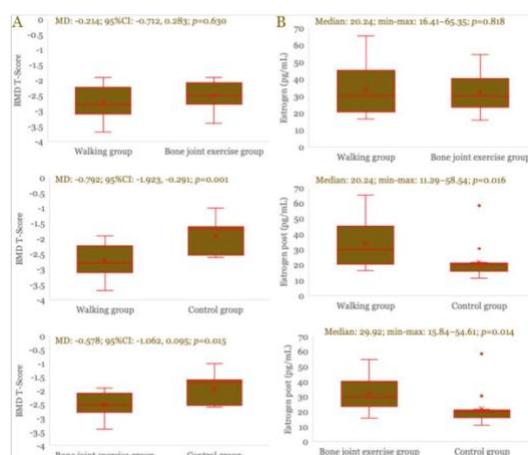


Figura 4. Análisis post-hoc de la densidad mineral ósea (DMO) y los niveles de estrógeno en dos secciones

Sin embargo, este estudio presentó limitaciones como un tamaño de muestra pequeño, lo que limitó la generalización de los resultados. La intervención de ocho semanas pudo no haber sido suficiente para observar mejoras a largo plazo en el equilibrio hormonal y la remodelación ósea. Además, no se consideraron factores dietéticos y de estilo de vida que podrían haber influido en los niveles hormonales y la salud ósea. Estas limitaciones resaltan la necesidad de investigaciones futuras que aborden estos aspectos para comprender mejor el impacto de la actividad física en la salud hormonal y ósea.

Otro de los estudios analizados para esta revisión, fue el informe científico llevado a cabo por Rizka Nugraheni Martyanti¹³ y colaboradores, que evaluó el entrenamiento de caminata a intervalos y la mejora en la densidad ósea en función de la densidad inicial.

Para analizar los efectos del entrenamiento en la DMO se reclutaron 234 mujeres posmenopáusicas de aproximadamente 64 años, quienes habían participado en un proyecto local y realizaron Entrenamiento de Caminata por Intervalos durante al menos 6 meses.

Se excluyeron las pacientes que habían recibido tratamiento para osteopenia u osteoporosis con medicación después de la primera medición de densidad mineral ósea

Entre los criterios de inclusión se estipuló que las pacientes no debían recibir tratamiento ni suplementos durante la intervención, lo que asegura que los resultados del estudio no estuvieran influenciados por estos factores.

El entrenamiento en el estudio se realizó mediante un protocolo de al menos 5 series de caminata rápida de 3 minutos a más del 70% del VO_2 pico del individuo, seguidas de 3 minutos de caminata lenta a aproximadamente el 40% del VO_2 pico, durante 4 días a la semana durante 5 meses. La intensidad del entrenamiento se monitorizó con un calorímetro portátil, que alertaba a los participantes cada 3 minutos para cambiar de intensidad.

Para investigar las relaciones entre las densidades minerales óseas (DMO) basales y los cambios en la DMO (ΔDMO), se realizaron varios análisis en los sitios óseos donde las DMO basales fueron identificadas como determinantes

significativos para el aumento de la DMO, específicamente en las vértebras lumbares (LS) y el fémur proximal (FN).

Además, se incluyó una línea de tendencia de suavizado mediante el método de diagrama de dispersión ponderado localmente (LOWESS) para resaltar la relación entre los valores basales y los cambios en la DMO. Esta técnica de suavizado ayuda a visualizar la tendencia general en los datos, haciendo más evidente cómo los valores iniciales de DMO influyen en los cambios observados después de la intervención de ejercicio.

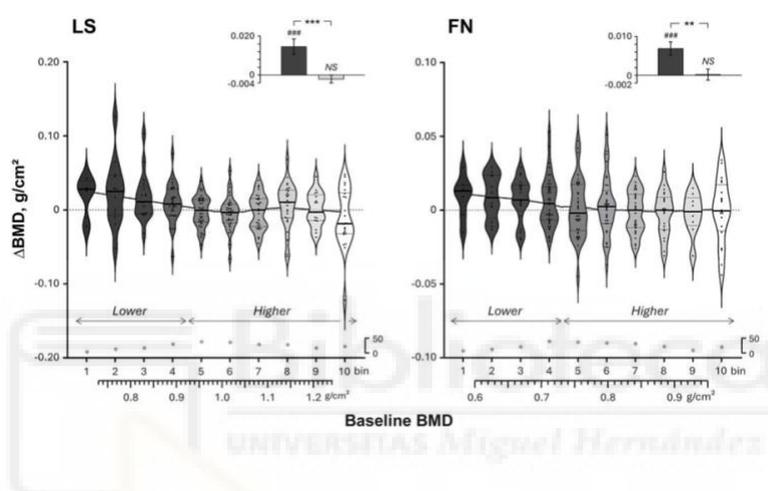


Figura 4 Valores basales individuales vs cambio (Δ) en los valores de densidad mineral ósea (DMO) para la columna lumbar (LS) y el cuello femoral bilateral (FN) después de la intervención de ejercicio, junto con la línea de tendencia de suavizado de diagrama de dispersión ponderado localmente (LOWESS).¹³

En la Figura 4 se puede observar la gráfica de violín. Esta presentó los cambios en los valores de densidad mineral ósea (DMO) para la columna lumbar (LS) y el cuello femoral bilateral (FN) después de una intervención de ejercicio.

En el eje Y se mostró el cambio en la DMO (Δ BMD) en gramos por centímetro cuadrado (g/cm^2), donde los valores positivos indicaron un aumento y los negativos una disminución. El eje X representó las categorías de DMO basal, desde valores más bajos a más altos. Cada "violín" mostró la distribución de los cambios en la DMO para diferentes rangos de DMO basal, siendo más ancha donde hubo más datos.

Como se muestra en la figura, se dividió a los sujetos en dos grupos: los 4 compartimentos inferiores (grupo de DMO inferior) y los 6 compartimentos superiores (grupo de DMO superior) para cada sitio óseo. Los valores medianos de Δ DMO fueron consistentemente superiores a cero en los 4 compartimentos inferiores, mientras que no lo fueron en los 6 compartimentos superiores, tanto para la columna lumbar (LS) como para el cuello femoral (FN). La línea de tendencia LOWESS indicó que las respuestas de Δ DMO se atenuaron a medida que las DMO basales aumentaron en los 4 compartimentos inferiores, mostrando una línea plana en el eje Y en los 6 compartimentos superiores

Por tanto, la columna lumbar (LS) mostró mayor variabilidad en los cambios de DMO, con algunos individuos experimentando aumentos significativos y otras disminuciones. Mientras que en el cuello femoral (FN) presentó una distribución más concentrada, sugiriendo un efecto más uniforme de la intervención de ejercicio.

Los gráficos insertados indicaron resultados estadísticos significativos, donde los asteriscos (***) y (**) sugirieron diferencias significativas y "NS" indicó que no hubo diferencias significativas. Por tanto, Además, en la gráfica la línea de tendencia (LOWESS) mostró cómo el cambio en la DMO varió con la DMO basal.

En resumen, la gráfica ilustró cómo la intervención de ejercicio afectó la densidad mineral ósea en diferentes áreas del cuerpo, destacando variaciones estadísticamente significativas entre los grupos de la columna lumbar en comparación con el cuello femoral.

El estudio llevado a cabo por J. Wen, Señor T. Huang, TL Li, PN Chong y BS Ang analizó el ejercicio aeróbico con step¹⁷. El objetivo de este estudio fue investigar los efectos del ejercicio de step a corto plazo sobre los marcadores de recambio óseo, DMO y componentes de aptitud funcional. Ya que, los ejercicios aeróbicos con step son fáciles de implementar y adaptables a diferentes niveles de aptitud.

Se reclutaron 48 mujeres posmenopáusicas (PMW) con una edad promedio de 58,2 años y una baja masa ósea, con una puntuación T de densidad mineral

ósea (DMO) de la columna lumbar de $-2,00$. Estas participantes fueron asignadas aleatoriamente a un grupo de ejercicio (GE, $n=24$) y a un grupo de control (GC, $n=24$). Por un lado, durante el estudio, dos participantes del GC abandonaron por razones personales, por otro lado, la tasa de asistencia de los participantes en el GE que completaron el ejercicio fue alta.

El grupo de ejercicio participó en un programa progresivo de 10 semanas, con sesiones de 90 minutos a una intensidad del 75-85% de la reserva de frecuencia cardíaca, tres veces por semana. Cada sesión incluía un calentamiento de 10-15 minutos con estiramientos, seguido de 30-35 minutos de ejercicio aeróbico con step para alcanzar y mantener la frecuencia cardíaca objetivo. Luego, se realizó una sesión de equilibrio y enfriamiento de 10-15 minutos, finalizando con un periodo de estiramiento y relajación de 10-15 minutos. Esta estructura integral aborda la resistencia cardiovascular, la fuerza y la flexibilidad.

Se realizaron mediciones la DMO, tanto del cuerpo completo como de la cadera total. Estos datos se obtuvieron antes y después de la intervención, mediante un escaneo de la columna lumbar durante la prueba previa como uno de los criterios para el reclutamiento de participantes, estableciendo un puntaje T menor a $-1,0$ como requisito.

La Tabla 4 presentó los resultados de las mediciones densitometrías óseas, indicando que tanto los participantes del grupo experimental (GE) como del grupo de control (CG) no mostraron cambios significativos en la densidad mineral ósea (DMO) después de las 10 semanas de ejercicio.

Tabla 4. Densitometría ósea para las pruebas pre y post

Variables	Grupo	Prueba previa	Prueba posterior
DMO total (g/cm^2)	GE	$0,91 \pm 0,08$	$0,92 \pm 0,09$
	GC	$0,95 \pm 0,08$	$0,94 \pm 0,08$
DMO total cadera (g/cm^2)	GE	$0,72 \pm 0,07$	$0,74 \pm 0,08$
	GC	$0,76 \pm 0,09$	$0,76 \pm 0,08$

En el estudio realizado por Yanlin Su¹⁵, Zhe Chen y Wei Xie se investigó el efecto de la natación en la densidad mineral ósea (DMO) de la columna lumbar en mujeres con osteoporosis posmenopáusica y premenopáusica. Se revisaron ensayos controlados aleatorizados y se analizaron tres artículos. Debido a las diferencias en el diseño experimental de los tres artículos que reportan datos sobre la Densidad Mineral Ósea (DMO) lumbar, se decidió implementar un análisis de subgrupos. Este diseño se basa en dos criterios principales: la edad (dividiendo a los participantes en grupos premenopáusicos y posmenopáusicos) y el tiempo de ejercicio (con el subgrupo 1 realizando entre 3 a 6 horas de ejercicio y el subgrupo 2 realizando menos de 3 horas).

Los criterios de inclusión para los estudios consistieron en ensayos clínicos que comparaban nadadores con mujeres sedentarias y que proporcionaran datos sobre la DMO. Por otro lado, los criterios de exclusión abarcaban ensayos sin grupo de control, casos de osteoporosis no relacionados con la osteoporosis posmenopáusica y premenopáusica, así como estudios en animales. Estos criterios aseguran la relevancia y validez de los resultados obtenidos.

Los resultados mostraron que la densidad general de la columna lumbar en el grupo experimental era significativamente mayor que en el grupo de control, aunque se observó una heterogeneidad media en los datos ($\chi^2 = 5,16$, $df = 2$, $p = 0,08$; $I^2 = 61\%$).

Debido a esta alta heterogeneidad, se realizó un análisis de subgrupos, dividiendo a los participantes en dos grupos: el subgrupo 1, compuesto por mujeres posmenopáusicas ($n = 35$) que nadaban de 3 a 6 horas por semana, y el subgrupo 2, compuesto por mujeres premenopáusicas ($n = 44$) que nadaban menos de 3 horas. En el estudio, se encontró que la densidad de la columna lumbar de las nadadoras postmenopáusicas en el grupo experimental era significativamente mayor que la del grupo de control, ya que, los resultados mostraron una heterogeneidad baja en este análisis ($\chi^2 = 0,15$, $gl = 1$, $p = 0,70$; $I^2 = 0\%$), lo que indica que no había diferencias significativas entre los estudios en cuanto a la densidad ósea en este grupo específico. Sin embargo, en la población general, la tendencia observada no fue significativa

En conclusión, los estudios sugieren que la natación puede tener un efecto positivo en la DMO de las nadadoras posmenopáusicas que nadan entre 3 y 6 horas a la semana. Sin embargo, no se observó un efecto significativo en las nadadoras premenopáusicas que nadan menos de 3 horas.

En el metaanálisis llevado a cabo por Yi Zhang y Huan Chen¹⁴ se investigó el efecto del Tai Chi, un ejercicio que combina meditación y movimientos suaves, con relación a la salud ósea y la prevención de caídas en este grupo.

Se incluyeron ensayos clínicos controlados aleatorizados (ECA) con mujeres posmenopáusicas, donde el grupo experimental practicaba Tai Chi y el control no recibía intervención.

Los criterios de exclusión fueron: participantes del grupo experimental que recibieron Tai Chi combinado con otras intervenciones y estudios que contenían datos incompletos o poco claros.

Se incluyeron 1.272 mujeres posmenopáusicas, 628 en el grupo experimental y 644 en el grupo de control.

Se evaluaron parámetros como la densidad mineral ósea, calcio sérico, puntuaciones de equilibrio, número de caídas y estado de salud.

Los resultados de la Densidad Mineral Ósea (DMO) vertebral se analizaron en 7 estudios. Se observó una heterogeneidad significativa entre los artículos, evaluada mediante un modelo de efectos aleatorios ($I^2 = 67\%$ y $P < 0,01$). El metaanálisis mostró que las mujeres posmenopáusicas que realizaron ejercicios de Tai Chi presentaron un aumento significativo en la DMO vertebral en comparación con el grupo de control, con una diferencia estandarizada de medias (SMD) de 0,37 y un intervalo de confianza del 95% de (0,04–0,71), $P = 0,03$. Respecto a los demás parámetros como el calcio sérico, puntuaciones de equilibrio clínico, números de caídas y en caídas totales no se observaron diferencias significativas.

5. DISCUSIÓN

Los datos experimentales de las diferentes fuentes objeto de esta revisión permiten concluir que la combinación de ejercicios es fundamental para aumentar la DMO en diferentes áreas del cuerpo², sin embargo, también es importante resaltar la relevancia de la frecuencia y la intensidad del ejercicio a lo largo del tiempo¹⁶. Los resultados sugieren que un enfoque multifacético que incluya ejercicios aeróbicos y de resistencia, junto con una frecuencia de entrenamiento adecuada, es esencial para prevenir la pérdida ósea. Además, la personalización de los programas de ejercicio según las necesidades y capacidades individuales puede maximizar los beneficios en la salud ósea. Por tanto, esto proporciona una evidencia sólida sobre la efectividad del ejercicio en la mejora de la densidad mineral ósea, lo que es crucial para el bienestar de las mujeres posmenopáusicas. La implementación de programas de ejercicio bien diseñados y sostenibles es fundamental para abordar la osteoporosis y mejorar la calidad de vida en este grupo poblacional.

Además, los estudios revisados muestran que diferentes tipos de ejercicio tienen impactos variados en la salud ósea de mujeres posmenopáusicas. Entre ellos, los ejercicios de caminata y los ejercicios articulares, así como el entrenamiento de caminata a intervalos, se destacan como los más beneficiosos⁸. Tanto el grupo de caminatas como el de ejercicios articulares mostraron mejoras significativas en los niveles de estrógeno y densidad mineral ósea (DMO). En particular, el grupo de caminatas aumentó sus niveles de estrógeno en 6,46 ng/L y mejoró su DMO de -2,72 a -2,32. El entrenamiento de caminata a intervalos¹³, también resultó en mejoras significativas en la DMO, especialmente en la columna lumbar. Este enfoque de ejercicio, que combina períodos de caminata rápida y lenta, parece ser altamente efectivo para aumentar la densidad ósea, lo que sugiere que la intensidad y la variabilidad del ejercicio pueden jugar un papel crucial. Además, la natación, especialmente en mujeres posmenopáusicas que nadaban de 3 a 6 horas por semana, mostró un efecto positivo en la densidad mineral ósea (DMO) de la columna lumbar¹⁵. Sin

embargo, el Tai Chi¹⁴ aunque su impacto fue más limitado en comparación, también demostró ser beneficioso.

En contraste, el grupo de control en el estudio de caminata y ejercicios articulares no mostró mejoras significativas y experimentó una disminución en los niveles de estrógeno, lo que subraya la importancia de la actividad física para mantener la salud ósea⁸. Además, el estudio de ejercicio aeróbico con step no encontró cambios significativos en la DMO después de 10 semanas¹⁷. Esto sugiere que no todos los tipos de ejercicio son igualmente efectivos, y que la falta de resultados positivos en ciertos grupos puede deberse al tipo de ejercicio o a la duración de la intervención.

Por otro lado, los datos de la población son fundamentales al interpretar los resultados. En el estudio de ejercicios articulares⁸, el tamaño pequeño de la muestra (42 mujeres) podría limitar los resultados. Además, las mujeres en este estudio estaban en una etapa avanzada de la menopausia. Esto podría influir en su respuesta a los ejercicios. Por otro lado, el estudio de caminata con intervalos incluyó 234 mujeres, lo que proporciona una base más amplia para evaluar el impacto del ejercicio.

El tiempo dedicado a la intervención es otro factor crucial. El estudio de ejercicio combinado duró 16 años. Esto sugiere que un período más prolongado de ejercicio puede ser necesario para observar beneficios significativos en la DMO.

Por tanto, los ejercicios de caminata y el entrenamiento a intervalos son los más beneficiosos para mejorar la salud ósea en mujeres posmenopáusicas, mientras que el ejercicio aeróbico con step no mostró resultados positivos. La influencia de los datos de la población y el tiempo empleado son factores determinantes en la efectividad de las intervenciones.

Finalmente, se destaca la importancia de personalizar los programas de ejercicio, considerando la condición inicial de las participantes y la duración del programa, ya que, es fundamental para maximizar los beneficios en la salud ósea. Estos hallazgos subrayan la relevancia de hacer actividad física de forma regular y adaptada, para prevenir la osteoporosis y mantener la salud ósea en mujeres.

Conclusión

Los estudios revisados han revelado que actividades como caminar y los ejercicios articulares estimulan la producción de estrógeno y mejoran la densidad ósea, mientras que el entrenamiento de caminata a intervalos ha mostrado mayores beneficios en mujeres con menor densidad ósea inicial. La natación también se ha presentado como una opción beneficiosa, especialmente para mejorar el equilibrio de la regulación de la masa ósea al aumentar el contenido de estrógeno en el cuerpo. Aunque el ejercicio aeróbico con step no mostró cambios significativos en la DMO en un corto período, sí influyó en la remodelación ósea. Por otro lado, el Tai Chi demostró ser efectivo para aumentar la DMO vertebral. Por lo tanto, se sugiere que lo más beneficioso es una combinación de actividades físicas moderadas, adaptadas a las necesidades individuales y al nivel de densidad ósea, ya que esto puede ser una estrategia efectiva para la prevención y el manejo de la osteoporosis en mujeres postmenopáusicas.



BIBLIOGRAFIA

1. Coughlan, T. & Dockery, F. Osteoporosis and fracture risk in older people. *Clinical Medicine* **14**, 187–191 (2014).
2. Hejazi, K., Askari, R. & Hofmeister, M. Effects of physical exercise on bone mineral density in older postmenopausal women: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Archives of Osteoporosis* **2022 17:1** **17**, 1–20 (2022).
3. Lane, N. E. Epidemiology, etiology, and diagnosis of osteoporosis. *Am J Obstet Gynecol* **194**, S3–S11 (2006).
4. Qué es la osteoporosis (síntomas, diagnóstico y tratamiento): el mayor enemigo de tus huesos. <https://www.elsevier.com/es-es/connect/osteoporosis-sintomas-diagnostico-y-tratamiento>.
5. Hermoso de Mendoza, M. T. Clasificación de la osteoporosis: Factores de riesgo. Clínica y diagnóstico diferencial. *An Sist Sanit Navar* **26**, 29–52 (2003).
6. Definición de tejido del hueso - Diccionario de cáncer del NCI - NCI. <https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/tejido-del-hueso>.
7. Orueta, R. & Gómez-Caro, S. Interpretación de la densitometría ósea. *Medicina de Familia. SEMERGEN* **36**, 27–30 (2009).
8. Pasa, C. *et al.* Effect of walking and bone joint exercise on enhancing bone remodeling in menopausal women: A randomized controlled trial. *Narra J* **4**, e1321 (2024).
9. Fernández-Tresguerres Hernández-Gil, I. *et al.* Bases fisiológicas de la regeneración ósea II: El proceso de remodelado. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal (Internet)* **11**, 151–157 (2006).
10. Słupski, W., Jawień, P. & Nowak, B. Botanicals in Postmenopausal Osteoporosis. *Nutrients* **13**, 1609 (2021).
11. Swaminathan, R. Biochemical markers of bone turnover. *Clinica Chimica Acta* **313**, 95–105 (2001).
12. Landa, M. C. Papel de la terapia hormonal sustitutiva, en la prevención y tratamiento de la osteoporosis menopáusica. *An Sist Sanit Navar* **26**, 99–105 (2003).
13. Martyanti, R. N. *et al.* Increased response of postmenopausal bone to interval walking training depends on baseline bone mineral density. *PLoS One* **19**, e0309936 (2024).
14. Zhang, Y. & Chen, H. Effect of Tai Chi exercise on bone health and fall prevention in postmenopausal women: a meta-analysis. *J Orthop Surg Res* **19**, 471 (2024).
15. Su, Y., Chen, Z. & Xie, W. Swimming as Treatment for Osteoporosis: A Systematic Review and Meta-analysis. *Biomed Res Int* **2020**, 6210201 (2020).
16. Kemmler, W., von Stengel, S. & Kohl, M. Exercise frequency and bone mineral density development in exercising postmenopausal osteopenic women. Is there a critical dose of exercise for affecting bone? Results of the Erlangen Fitness and Osteoporosis Prevention Study. *Bone* **89**, 1–6 (2016).

17. Wen, H. J., Huang, T. H., Li, T. L., Chong, P. N. & Ang, B. S. Effects of short-term step aerobics exercise on bone metabolism and functional fitness in postmenopausal women with low bone mass. *Osteoporosis International* **28**, 539–547 (2017).

