



PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del
Ejercicio y la Salud

ISSN: 1409-0724

ISSN: 1659-4436

pensarenmovimiento.eefd@ucr.ac.cr

Universidad de Costa Rica
Costa Rica

León, Felix; Mestre, Andres; Priego, Lorelu; Vera, Juan Carlos
**Adaptaciones morfológicas en respuesta al ejercicio crónico
en los tejidos osteomusculares: una revisión sistemática**
PENSAR EN MOVIMIENTO: Revista de Ciencias del Ejercicio
y la Salud, vol. 21, núm. 2, e56159, 2023, Julio-Diciembre
Universidad de Costa Rica
Montes de Oca, Costa Rica

DOI: <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v21i2.56159>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=442075225004>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Revisión sistemática

Volumen 21, número 2, pp. 1-30

Abre 1° de Julio, cierra 31 de Diciembre, 2023

ISSN: 1659-4436

Adaptaciones morfológicas en respuesta al ejercicio crónico en los tejidos osteomusculares: una revisión sistemática

Felix León, Andres Mestre, Lorelu Priego y Juan Carlos Vera

Envío original: 2022-06-18 | Reenviado: 2023-01-06, 2023-04-21 | Aceptado: 2023-04-26

Publicado en versión en español: 2023-08-16*

Doi: <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v21i2.56159>

Editor asociado a cargo: Ph.D Luis Fernando Aragón-Vargas

¿Cómo citar este artículo?

León, F., Mestre, A., Priego, L. y Vera, J.C. (2023). Adaptaciones morfológicas en respuesta al ejercicio crónico en los tejidos osteomusculares: una revisión sistemática. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 21(2), e56159. <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v21i2.56159>

* Artículo traducido al español. Original en inglés disponible en: León, F., Mestre, A., Priego, L., & Vera, J. C. (2023). Morphological adaptations in response to chronic exercise across musculoskeletal tissues: a systematic review. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 21(1), e51450. <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v21i1.51450>

Adaptaciones morfológicas en respuesta al ejercicio crónico en los tejidos osteomusculares: una revisión sistemática

Morphological adaptations in response to chronic exercise across musculoskeletal tissues: a systematic review

Adaptações morfológicas em resposta ao exercício crônico nos tecidos osteomusculares: uma revisão sistemática

Felix León  1

Andres Mestre  2

Lorelu Priego  3

Juan Carlos Vera  4

Resumen: Hasta la fecha, no existe una revisión sistemática que resuma las adaptaciones morfológicas del sistema osteomuscular en respuesta al ejercicio crónico. La presente seleccionó artículos originales, con fecha de publicación de 2000 a 2020, idioma de publicación en inglés, con una clara intervención de ejercicio y que presentaran un cambio morfológico en el tejido estudiado. Participantes humanos independientemente de la edad, el género o condición de salud. Se identificaron 2819 registros. Después de eliminar los duplicados, la selección de títulos y resúmenes y la revisión de texto completo, se incluyeron 67 registros en el análisis final (6 para disco intervertebral, 6 para cartílago, 36 para hueso, 2 para ligamento, 9 para tendón y 7 para músculo). Los resultados destacan que las intervenciones más utilizadas fueron ejercicio aeróbico, contra resistencia y pliométrico. La población abarcó desde niños y personas sanas activas hasta personas con alguna condición de salud. Se concluye que, como respuesta al ejercicio crónico, existen adaptaciones morfológicas en los tejidos del sistema musculoesquelético que pueden variar desde un aumento de rigidez hasta un aumento de área. Aunque los tejidos pueden adaptarse, aún quedan varias preguntas, como la dosis y tipo de ejercicio óptimo, si pueden ocurrir adaptaciones en un tejido lesionado y las implicaciones funcionales de estas adaptaciones. La investigación futura debe abordar estas preguntas.

Palabras clave: osteomuscular, adaptación, estilo de vida, actividad física.

¹ Centro de Investigación en Ciencias de la Salud (CICSA), FCS, Universidad Anáhuac México, Campus Norte, Huixquilucan, Estado de México, México. Correo electrónico: felix.leon@anahuac.mx

² Centro de Investigación en Ciencias de la Salud (CICSA), FCS, Universidad Anáhuac México, Campus Norte, Huixquilucan, Estado de México, México. Correo electrónico: andres.mestreza@anahuac.mx

³ Centro de Investigación en Ciencias de la Salud (CICSA), FCS, Universidad Anáhuac México, Campus Norte, Huixquilucan, Estado de México, México. Correo electrónico: niria.priegogu@anahuac.mx

⁴ Centro de Investigación en Ciencias de la Salud (CICSA), FCS, Universidad Anáhuac México, Campus Norte, Huixquilucan, Estado de México, México. Correo electrónico: juan.veragu@anahuac.mx



Abstract: To date, there is no systematic review that summarizes the morphological adaptations of the musculoskeletal system in response to chronic exercise. This systematic review selected original articles published in English between 2000 and 2020, with a clear exercise intervention and presenting a morphological change in the tissue under study, and covering human participants irrespective of age, gender or health condition. In total, 2819 records were identified. After removal of duplicates, title and abstract screening and full-text review, 67 records were included in the final analysis (6 for inter-vertebral disc, 6 for cartilage, 36 for bone, 2 for ligament, 9 for tendon and 7 for muscle). The most used interventions were aerobic, resistance, and plyometric exercise. Population ranged from children and healthy active people to individuals with a health condition. In conclusion, as a response to chronic exercise there are morphological adaptations in the tissues of the musculoskeletal system which vary from increased stiffness to an increase in cross-sectional area. Although tissues can adapt, several questions still linger, such as optimal dose and type of exercise, whether adaptations can occur in an injured tissue, and functional implications of these adaptations. Future research should address these questions.

Keywords: Musculoskeletal system physiology, adaptation, morphology, lifestyle, physical activity

Resumo: Até o momento, não há uma revisão sistemática que resuma as adaptações morfológicas do sistema osteomuscular em resposta ao exercício crônico. Esta revisão sistemática selecionou artigos originais, com data de publicação de 2000 a 2020, idioma de publicação em inglês, com clara intervenção de exercícios e que apresentaram alteração morfológica no tecido estudado. Participantes humanos, independentemente da idade, sexo ou condição de saúde. Foram identificados 2.819 registros. Após eliminar os artigos duplicados, triagem de título e resumo e revisão do texto completo, 67 registros foram incluídos na análise final (6 para disco intervertebral, 6 para cartilagem, 36 para osso, 2 para ligamento, 9 para tendão e 7 para músculo). Os resultados destacam que as intervenções mais utilizadas foram exercícios aeróbicos, resistidos e pliométricos. A população variou de crianças e pessoas saudáveis ativas a pessoas com alguma condição de saúde. Conclui-se que, em resposta ao exercício crônico, ocorrem adaptações morfológicas nos tecidos do sistema musculoesquelético, que podem variar desde um aumento de rigidez até um aumento de área. Embora os tecidos possam se adaptar, várias questões permanecem, como a dose ideal e o tipo de exercício, se adaptações podem ocorrer no tecido lesado e as implicações funcionais dessas adaptações. Pesquisas futuras devem abordar essas questões.

Palavras-chave: osteomuscular, adaptação, estilo de vida, atividade física.

1. Introducción

El tejido musculoesquelético es muy sensible a las fuerzas mecánicas. Estas pueden influir en la señalización celular (Salvi y DeMali, [2018](#)) e impulsar respuestas celulares (Dunn y Olmedo, [2016](#)) que, a su vez, controlan y regulan respuestas y comportamientos en la fisiología humana (Wang, [2017](#)). Un tipo de fuerzas mecánicas son las que se experimentan durante el ejercicio.

El ejercicio se suele clasificar en ejercicio de resistencia y ejercicio aeróbico (Wilson et al., [2012](#)). El primero está diseñado para mejorar la fuerza y la potencia muscular (Stricker et al., [2020](#)) mientras que el ejercicio aeróbico tiene como objetivo mejorar el rendimiento de resistencia general (Rothschild y Bishop, [2020](#)). Ambos promueven adaptaciones en los tejidos musculoesqueléticos al alterar las vías de señalización encargadas de la síntesis de proteínas (Coffey y Hawley, [2007](#)). Una sola sesión de ejercicio aeróbico es insuficiente para producir cambios significativos en el tejido musculoesquelético. Sin embargo, una sesión de ejercicio promueve alteraciones transitorias en la homeostasis celular que, cuando se repiten a lo largo del tiempo, dan lugar a la adaptación específica inducida por el ejercicio asociada con el entrenamiento a largo plazo (Coffey et al., [2009](#); Hughes, Ellefsen et al., [2018](#)).

Los estudios han demostrado los efectos del ejercicio en la morfología del sistema musculoesquelético, sin embargo, hasta la fecha no existe ninguna revisión sistemática que resuma los efectos del ejercicio en la morfología de los tejidos del sistema musculoesquelético. Esto puede ayudar a orientar la toma de decisiones clínicas cuando se buscan cambios en los tejidos musculoesqueléticos. El objetivo principal de esta revisión sistemática es resumir los conocimientos actuales sobre las adaptaciones morfológicas del sistema musculoesquelético en respuesta al ejercicio crónico y, como objetivo secundario, identificar los tipos de ejercicio utilizados para provocar dichas adaptaciones morfológicas.

2. Metodología

Esta revisión se realizó de acuerdo con la guía Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Page et al., [2021](#)). El estudio cuenta se registró en ROSPERO con el numero identificador CRD42020188000. Los estudios se consideraron elegibles para su inclusión si eran originales, con fecha de publicación entre 2000 y 2020, realizados en sujetos humanos, con inglés como idioma de publicación, tenían una clara intervención de ejercicio y, como resultado, presentaban una adaptación morfológica en el tejido estudiado. La búsqueda se realizó entre julio de 2021 y septiembre de 2021. Las bases de datos utilizadas fueron Pubmed, PEDro, ClinicalKey, Proquest y ResearchGate. Se excluyeron los estudios que detallaban cambios agudos. La estrategia de búsqueda se realizó mediante palabras clave y operadores booleanos: [(Cartílago O Disco Intervertebral O Hueso O Ligamento O Tendón O Músculo) Y Ejercicio]. Todos los autores contribuyeron a la búsqueda inicial y al cribado. FL y AM realizaron el análisis completo por registro. En caso de desacuerdo, se recurrió a un tercer autor (LP o JCV) para dirimir una decisión. En los estudios observacionales se utilizó la herramienta AXIS para evaluar el riesgo de sesgo (Downes et al., [2016](#)). En el caso de los estudios experimentales, se utilizó la escala PEDro para evaluar el riesgo de sesgo (Maher et al., [2003](#)). No se excluyeron registros en función de la

evaluación. Los ítems extraídos fueron los siguientes: autor, año de publicación, diseño del estudio, tejido estudiado, población, intervención, comparación y resultado.

3. Resultados

En total, se identificaron 2819 registros (314 para disco intervertebral (DIV), 666 para cartílago, 561 para hueso, 366 para ligamento 513 para músculo y 370 para tendón). Tras el análisis de texto completo, se incluyeron 66 registros en el análisis final (6 para DIV, 6 para cartílago, 36 para hueso, 2 para ligamento, 9 para tendón y 7 para músculo). El diagrama de flujo PRISMA se presenta en la [Figura 1](#) (León et al., [2023](#)).

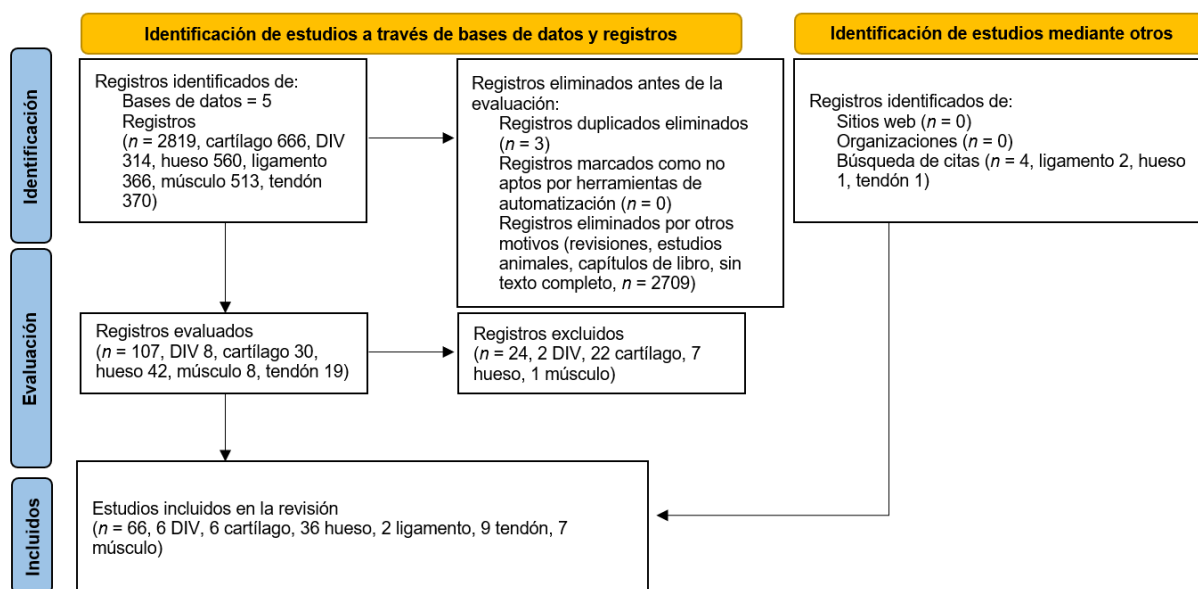


Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA de la estrategia de búsqueda. Fuente: elaboración propia.

Características por tejido

En el apéndice se presenta una lista completa con las características de cada estudio (autor, diseño, población, intervención, comparación y resultados).

Diseño del estudio

En el caso del DIV, cuatro estudios fueron observacionales y dos experimentales; en el del cartílago, los seis estudios fueron experimentales; en el del hueso, veinticinco estudios fueron experimentales y once observacionales; en el del ligamento, ambos estudios fueron observacionales; en el del tendón, cuatro fueron experimentales y cinco observacionales; y en el del músculo, los siete estudios fueron experimentales.

Población estudiada

Para el DIV, la población estudiada fueron personas que practican deporte (4) e individuos con dolor (lumbalgia crónica inespecífica [1] y dolor radicular en las piernas por hernia discal lumbar [1]); para el cartílago, eran principiantes de maratón asintomáticos (1),

mujeres de 45-55 años (1) y participantes con osteoartritis (OA) (4); para hueso, eran participantes sanos (8), niños (7), mujeres posmenopáusicas (5), mujeres premenopáusicas (3), participantes con lesión medular (LM) (2), hombres con cáncer de próstata (1), supervivientes de cáncer de mama con menopausia relacionada con el tratamiento (1), personas que viven en la comunidad con ictus (1), participantes caucásicos de edad avanzada (2), jugadores de tenis adultos (1) y niños (1), hombres con osteopenia u osteoporosis (1), mujeres levantadoras de pesas (1) y reclutas del ejército estadounidense (1) y británico (1); para los ligamentos, las personas estudiadas fueron jugadoras de fútbol (1) y hombres levantadores de pesas (1); para los tendones, fueron reclutas de infantería básica (1), mujeres adultas mayores (1), participantes no entrenados en fuerza (1), hombres adultos (1) voluntarios activos recreativamente (1) y sujetos sanos (4); para el músculo, eran mujeres premenopáusicas con fibromialgia (FM) (1), hombres jóvenes (1), hombres sedentarios (1), hombres jóvenes activos (1) y sujetos sanos (3).

Características de la intervención

Para el DIV estudios observacionales (sin intervención) (4), ejercicios de *core* (1) y ejercicios de resistencia y aeróbicos (1); para el cartílago, hubo un programa de ejercicios en casa (1) un programa de carrera y un maratón (1), ejercicios aeróbicos y aeróbicos de *step* (1), ejercicios de resistencia acuática (1) y una comparación entre tres tipos de ejercicios (2); para los huesos hubo ejercicio aeróbico (1), ejercicios de *fitness* acuático (1), clases de actividad física del plan de estudios ordinario (3), entrenamiento militar básico (2), tenis (1), remo eléctrico funcional (REF) (1), ejercicios de caída con una sola pierna (1), ejercicios unilaterales de alto impacto (1), ejercicio general más suplementación (1), ejercicio y terapia hormonal (1), entrenamiento con ejercicios multicomponente (1), ejercicios de impacto y resistencia (1), combinación de ejercicios de resistencia, impacto y equilibrio (1), ejercicios progresivos de resistencia e impacto de alta intensidad (1), dos regímenes de ejercicios (1), entrenamiento progresivo de resistencia de alta intensidad (1), ejercicios progresivos de resistencia de intensidad moderada más ejercicios de impacto (2), ejercicios de impacto y pliométricos (1), estudios observacionales (7) y, el resto, una combinación de ejercicio general (7); para ligamento, ambos estudios fueron observacionales, por lo que no se utilizó ninguna intervención; para tendón hubo entrenamiento básico de infantería (1), ejercicios de flexión plantar (1), flexión plantar isométrica (2) flexión plantar unilateral isométrica explosiva (1) y estudios observacionales (4); para el músculo hubo ejercicios de resistencia corporal total (1), ejercicios de resistencia unilateral (1), ejercicios de prensa de piernas (2), sentadillas bilaterales con volante de inercia (1), ejercicios extensores de rodilla (1) y ejercicio excéntrico de rodilla (1).

Comparación

Para el DIV, la comparación fue con controles sin deporte (2), diferentes niveles de actividad (2), ejercicios centrales (1) y terapia manual y control motor (1); para el cartílago hubo un grupo de control simple (1) suplementación (sulfato de glucosamina) (1), atención habitual (1), sin entrenamiento (1) y tres tipos de ejercicio (2); para los huesos hubo entrenamiento de *aqua fitness* con control (1), actividad física semanal realizada en diferentes frecuencias (3), entre jugadores de tenis de brazos (1), tenis en diferentes poblaciones (1), pliometría en diferentes frecuencias (1), ejercicios de *drop landing* (1), levantadoras de pesas y controles emparejados por edad (1), carga ósea a lo largo de la vida (1), ejercicio más

-- 6 --



Esta obra está bajo una

[Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

suplementación (1), entre gimnastas y no gimnastas (1) entre tipos de entrenamiento de alta intensidad (1), entre ejercicios de resistencia, equilibrio o salto (1), REF más ácido zoledrónico (1), entre ejercicio y terapia hormonal sustitutiva (THS) (1), comparación entre actividades motoras finas y gruesas más suplementación (calcio) (1), ejercicio aeróbico, de resistencia y equilibrio comparado con ejercicio de las extremidades superiores como control (1), deportes con diferentes patrones de impacto (1), aducción y abducción de la cadera de pie, sentadilla y peso muerto y un grupo de control (1), ejercicio de resistencia, fútbol y un grupo de control (1), entrenamiento de resistencia y flexibilidad progresivo y de intensidad moderada como control (2), resistencia de la parte inferior del cuerpo más ejercicio de salto o resistencia de la parte superior más ejercicio de salto y un grupo de control (1), solo entrenamiento con ejercicio y un grupo de control (1), sin comparación (6) y un grupo de control solo (4); para el ligamento no hubo comparación (1) y controles emparejados por edad (1); para el tendón hubo ningún ejercicio como control (2), dos regímenes de ejercicio con control sin ejercicio (1), cuatro tipos de deportes de salto (1), atletas de pista de salto de élite de nivel internacional y controles sanos activos recreativamente (1), dos tipos de deportes y sujetos sedentarios (1), dos tipos de régimen de ejercicio y ningún entrenamiento específico como control (1), corredores masculinos, corredoras femeninas y mujeres no corredoras (1) y ninguna comparación (1); en el caso del músculo, entre hombres y mujeres (1), participantes jóvenes y mayores (1), contracciones concéntricas y excéntricas (2), carga pesada y baja (1), diferentes velocidades y ningún ejercicio como controles (1) y mujeres sanas como controles (1).

Resultados

Los resultados más notificados para el DIV fueron un mayor DIV en 5 estudios y valores de T2 más altos en 3 estudios; para el cartílago, un aumento del grosor (2) y una disminución del grosor (2); para el hueso hubo aumentos de la densidad mineral ósea (DMO) (20), aumentos del contenido mineral óseo (CMO) (10) y aumentos del área cortical (6); en el ligamento, aumento del área de la sección transversal (AST) (1) y aumento del volumen (1); en el tendón, aumento del AST (6) y aumento de la rigidez (5); en el músculo, aumento de la masa (4) y aumento del AST (2).

Riesgo de sesgo de los estudios observacionales por tejido

Las características del riesgo de sesgo de los estudios observacionales se presentan en [Tabla 1](#). Para el DIV se cumplieron todos los criterios; solo en un estudio se calculó el tamaño de la muestra (Bowden et al., [2018](#)). En el caso de los huesos, se cumplieron todos los criterios; solo dos estudios no respondieron y en ambos se describieron las medidas adoptadas para abordar el problema de los que no respondieron, la tasa de respuesta y la información sobre los que no respondieron (Hughes, Gaffney-Stomberg et al., [2018](#); O'Leary et al., [2019](#)). Para el ligamento se cumplieron todos los criterios; solo uno no discutió las limitaciones del estudio y no obtuvo la aprobación ética ni el consentimiento informado (Grzelak et al., [2012](#)). Para el tendón se cumplieron todos los criterios; en tres se adoptaron medidas para tratar a los que no respondieron, se describió la tasa de respuesta y se facilitó información sobre los que no respondieron (Karamanidis y Epro, [2020](#); Milgrom et al., [2014](#); Westh et al., [2007](#)) y una tenía un tamaño de muestra justificado y sin significación estadística clara (Milgrom et al., [2014](#)). Todos los estudios incluidos relativos a músculo y cartílago

correspondían a diseños experimentales; por lo tanto, no se realizó ninguna evaluación de los estudios observacionales.

Tabla 1

Evaluación del riesgo de sesgo para estudios observacionales mediante la herramienta AXIS. N/A, no aplicable ya que no hubo no respondedores

Autores	Obj.	Dis.	n	Pob.	MAd.	Sel.	NR	FR	α	Mét.	Datos	%R	INR	RIC	RAD	DCJ	Lim.	FCI	Ética
Disco intervertebral																			
Belavy et al. (2017)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Belavy et al. (2019)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Owen et al. (2021)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Bowden et al. (2018)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Hueso																			
Bailey et al. (2010)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Dowthwaite et al. (2007)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Draghici et al. (2019)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Ducher et al. (2011)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ
Ducher et al. (2009)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Ducher et al. (2004)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Heinonen et al. (2002)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Hughes, Gaffney-Stomberg et al. (2018)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Nilsson et al. (2013)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
O'Leary et al. (2019)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Rantalainen et al. (2011)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
Ligamento																			
Grzelak et al. (2012)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO
Myrick et al. (2019)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ

Tendón

Autores	Obj.	Dis.	n	Pob.	MAd.	Sel.	NR	FR	α	Mét.	Datos	%R	INR	RIC	RAD	DCJ	Lim.	FCI	Ética
Epro et al. (2019)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ
Karamanidis y Epro (2020)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ
Milgrom et al. (2014)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ
Westh et al. (2007)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ
Zhang et al. (2015)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	N/A	N/A	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ

Nota. Obj.: objetivos claros; Dis.: diseños de estudio correctos; n: tamaño de la muestra; Pob.: población definida; MAd: muestra adecuada para representar a la población destinataria; Sel.: proceso de selección adecuado; NR: medidas adoptadas para hacer frente a los que no responden; FR: factores de riesgo y variables de resultado medidos de forma adecuada a los objetivos; α : significación estadística clara; Mét.: métodos descritos; Datos: datos básicos descritos; %R: porcentaje de respuesta descrito; INR: información sobre los respondedores descrita; RIC: resultados internamente coherentes; RAD: resultados internamente coherentes; DCJ: discusión y conclusiones justificadas; Lim.: limitaciones discutidas; FCI: financiación o conflicto de intereses que puedan afectar a los resultados; Ética: aprobación ética o consentimiento informado obtenido. Fuente: elaboración propia.

Riesgo de sesgo de los estudios experimentales por tejido

Las características del riesgo de sesgo de los estudios experimentales se presentan en la [Tabla 2](#). Para el DIV, un estudio obtuvo una puntuación de 6/10 (Khanzadeh et al., [2020](#)) y otro obtuvo uno de 7/10 (Owen et al., [2020](#)).

Para el cartílago, un estudio obtuvo una puntuación de 9/10 (Armagan et al., [2015](#)), otro obtuvo un puntaje de 8/10 (Munukka et al., [2016](#)), tres tuvieron un puntaje de 6/10 (Benli Küçük, [2017](#); Cotofana et al., [2010](#); Koli et al., [2015](#)) y uno tuvo un puntaje de 3/10 (Hinterwimmer et al., [2014](#)).

Para hueso, un estudio tuvo un puntaje de 4/10 (Hasselstrøm et al., [2008](#)), diez tuvieron un puntaje de 5/10 (Detter et al., [2013](#); Gabr et al., [2016](#); Greene et al., [2009](#); Marques et al., [2011](#), [2013](#); Milliken et al., [2003](#); Specker y Binkley, [2003](#); Vainionpää et al., [2007](#); Valdimarsson et al., [2006](#); Wochna et al., [2019](#)), siete tuvieron un puntaje de 6/10 (Bailey et al., [2010](#); Du et al., [2021](#); Kukuljan et al., [2011](#); Lambert et al., [2020](#); Pang et al., [2006](#); Watson et al., [2015](#); Winters-Stone y Snow, [2006](#)) y siete tuvieron un puntaje de 7/10 (Bolton et al., [2012](#); Harding et al., [2020](#); Karinkanta et al., [2007](#); Lang et al., [2014](#); Morse et al., [2019](#); Winters-Stone et al., [2013](#), [2014](#)).

Para tendón, tres tuvieron un puntaje de 5/10 (Arampatzis et al., [2007](#); Epro et al., [2017](#); Werkhausen et al., [2018](#)) y uno tuvo un puntaje de 6/10 (Bohm et al., [2014](#)).

Para músculo, cuatro tuvieron un puntaje de 5/10 (Bickel et al., [2011](#); Fernandez-Gonzalo et al., [2014](#); Franchi et al., [2014](#); Holm et al., [2008](#)) y tres tuvieron un puntaje de 6/10 (Franchi et al., [2015](#); Häkkinen et al., [2002](#); Marzilger et al., [2020](#)).

Los parámetros que no cumplieron la mayoría de los estudios fueron la ocultación de la asignación, el cegamiento de los sujetos, el cegamiento de los terapeutas y el cegamiento de los evaluadores. Los estudios incluidos para el tejido ligamento correspondían a un diseño observacional; por lo tanto, no se realizó una evaluación de los estudios experimentales.

Tabla 2

Evaluación del riesgo de sesgo de los estudios experimentales mediante la herramienta PEDro

Autores	Crit	Ale	Asig	Base	Suj	Ter	Eval	85%	IntTrat	Grupo	Clave	PEDro
Disco intervertebral												
Khanzadeh et al. (2020)	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Owen et al. (2020)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Cartilago												
Armagan et al. (2015)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	9/10
Cotofana et al. (2010)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Hinterwimmer et al. (2014)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Koli et al. (2015)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Küçük et al. (2017)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	8/10
Munukka et al. (2016)	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	SÍ	3/10
Hueso												
Alghadir et al. (2016)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Bailey y Brooke-Wavell (2010)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Bolton et al. (2012)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Detter et al. (2013)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Du et al. (2021)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Greene et al. (2009)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Harding et al. (2020)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Hasselstrøm et al. (2008)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	4/10
Karinkanta et al. (2007)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Kukuljan et al. (2011)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Autores	Crit	Ale	Asig	Base	Suj	Ter	Eval	85%	IntTrat	Grupo	Clave	PEDro

Lambert et al. (2020)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Lang et al. (2014)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Marques et al. (2011)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Marques et al. (2013)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Milliken et al. (2003)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Morse et al. (2019)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Pang et al. (2006)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Specker y Binckley (2003)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Vainionpää et al. (2007)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Valdimarsson et al. (2006)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Watson et al. (2015)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Winters-Stone et al. (2014)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Winters-Stone et al. (2013)	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	7/10
Winters-Stone y Snow	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
(2006)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Tendón												
Arampatzis et al. (2007)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Bohm et al. (2014)	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Epro et al. (2017)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Werkhausen et al. (2018)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Músculo												
Bickel et al. (2011)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10

Autores	Crit	Ale	Asig	Base	Suj	Ter	Eval	85%	IntTrat	Grupo	Clave	PEDro
Fernandez-Gonzalo et al. (2014)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10



Franchi et al. (2014)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Franchi et al. (2015)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Häkkinen et al. (2002)	SÍ	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10
Holm et al. (2008)	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	5/10
Marzilger et al. (2020)	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	6/10

Nota. Crit: Criterios de elegibilidad; Ale: Asignación aleatoria; Asig: Ocultación de asignación; Base: Similitud de base; Suj: Cegamiento de sujetos; Ter: Cegamiento del terapeuta; Eval: Cegamiento del evaluador; 85%: Medidas de más del 85% de los sujetos en el resultado clave; IntTrat: Resultados del tratamiento, control o “intención de tratar”; Grupo: Comparación entre grupos; Clave: Medición puntual o de la variabilidad de los resultados clave; PEDro: Puntuación PEDro total. Fuente: elaboración propia.

4. Discusión

El objetivo de esta revisión sistemática fue resumir los conocimientos actuales sobre las adaptaciones morfológicas de los tejidos del sistema osteomuscular en respuesta al ejercicio crónico y, como objetivo secundario, identificar los tipos de ejercicio más adecuados para provocar adaptaciones morfológicas. Un resumen visual de los resultados se presenta en [Figura 2](#).

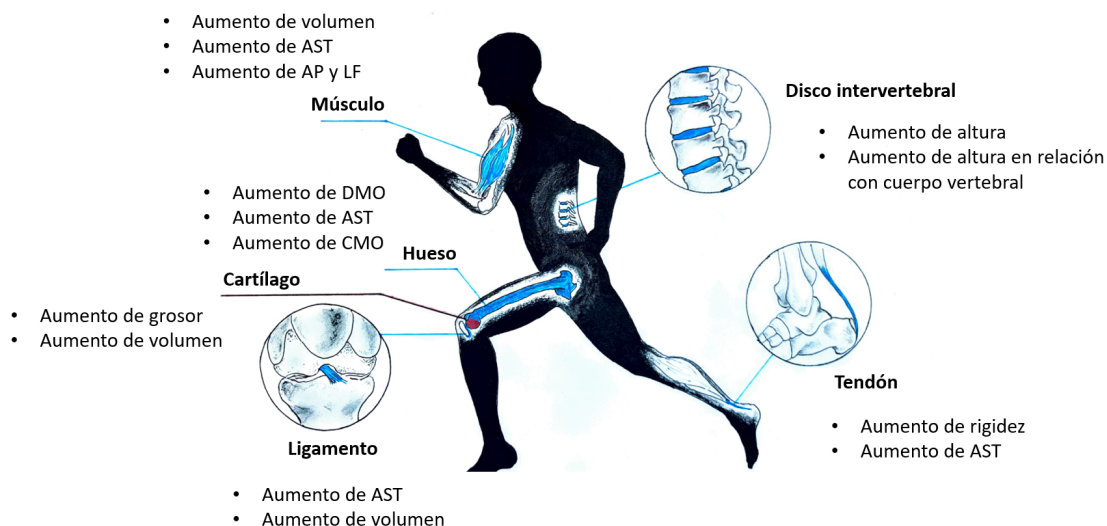


Figura 2. Efectos del ejercicio crónico en los tejidos musculoesqueléticos. Fuente: elaboración propia.

Cuatro estudios mostraron cambios en los parámetros del DIV, incluyendo un aumento de la altura, una mayor altura del DIV en relación con el cuerpo vertebral y una mejor hidratación del DIV. Estas adaptaciones se produjeron, principalmente, como respuesta al ejercicio aeróbico. El DIV se divide en dos subestructuras: el núcleo pulposo (NP), que ofrece resistencia a las fuerzas de compresión, y el anillo fibroso (AF), que ofrece resistencia a las fuerzas de tensión. Se sabe que las fuerzas de compresión y tensión desencadenan respuestas anabólicas, como la reorganización del citoesqueleto y la expresión de genes. (Fearing et al., [2018](#); Iatridis et al., [2006](#)). Acorde a esto, en los estudios que mostraron diferencias en los parámetros del DIV, la población realizaba actividades que implicaban momentos de compresión dinámica en la columna vertebral como saltar, caminar o correr; podría ser el caso de que el ejercicio aeróbico, debido a su elemento de compresión dinámica, sea el más adecuado para provocar una respuesta en el DIV. Dos estudios no hallaron cambios en la altura del DIV tras la intervención. Khanzadeh et al. ([2020](#)) no encontraron cambios tras la intervención consistente en ejercicios de suspensión. Aunque el AF es sensible a las fuerzas de tensión, parece que, debido al mayor contenido de agua en el NP, las respuestas al ejercicio son más perceptibles en el NP y no en el AF. Teniendo esto en cuenta, la intervención utilizada podría no ser apropiada para provocar una respuesta en el DIV. Owen et al. ([2020](#)) hallaron diferencias en la altura del DIV y los tiempos T2, pero estas no alcanzaron Significación estadística. Los autores plantean la hipótesis de que esto puede deberse a la escasa adherencia al ejercicio y a la duración de la intervención.

Cuatro estudios mostraron cambios en el grosor y el volumen del cartílago y una mejor orientación del colágeno. Estos cambios se observaron como resultado del ejercicio aeróbico y de resistencia. Aunque no se comprenden del todo, se sabe que los mecanismos por los cuales el cartílago se adapta a las fuerzas mecánicas es una interacción entre la matriz pericelular (MPC) y el condrocito. La MPC proporciona una conexión entre la matriz extracelular (MEC) y el condrocito y alberga factores de crecimiento y moléculas reguladoras que se unen a los receptores del condrocito en respuesta a la carga mecánica, como el factor de crecimiento de fibroblastos 2 (FGF2). Mientras tanto, el condrocito es el verdadero órgano mecanorresponsivo, que alberga mecanorreceptores sensibles a las moléculas liberadas por la MPC, como canales iónicos, cilios primarios e integrinas. Esta interacción entre la MPC y el condrocito provoca una reorganización del citoesqueleto, la activación de las proteínas quinasas activadas por mitógenos (MAPK), la secreción de glicoproteínas de la familia Watts y la expresión de microARN (miARN) (Gilbert y Blain, [2018](#); Vincent y Wann, [2019](#); Zhao et al., [2020](#)). Un estudio no encontró cambios en la morfología del cartílago tras la intervención, Cotofana et al. ([2010](#)) no observaron cambios en la morfología del cartílago de la rodilla tras tres meses de intervención. Los autores abordaron la duración de la intervención como una limitante en su estudio, que podría ser la razón de la falta de cambios observados; sugieren que tres meses es un plazo demasiado corto para que el cartílago se adapte. En línea con esto, los estudios incluidos en esta revisión sistemática que observaron cambios en el cartílago tenían tiempos de intervención de cuatro, seis y doce meses. Un estudio observó una disminución del grosor y el volumen del cartílago tras el periodo de intervención. Hinterwimmer et al. ([2014](#)) realizaron un periodo de intervención de seis meses de entrenamiento supervisado de maratón y una carrera de maratón tras el periodo de intervención y observaron una disminución del grosor y el volumen del cartílago. Los tiempos de examen de la IRM pueden explicar los resultados observados. La medida de seguimiento se realizó un día después del maratón, lo que podría representar una respuesta aguda al ejercicio. Como respuesta aguda al ejercicio, el grosor del cartílago disminuye de forma dependiente de la dosis y se desconoce el tiempo necesario para que vuelva a los niveles basales (Bini y Bini, [2020](#); Crowder et al., [2021](#); Esculier et al., [2019](#); Harkey et al., [2018](#); Kersting et al., [2005](#)), por lo que es posible que los resultados observados se debieran a la carrera de maratón. Aun teniendo esto en cuenta, los autores interpretaron los resultados como una disminución no significativa del grosor y el volumen del cartílago, lo que indica que el ejercicio en forma de entrenamiento y carrera de maratón no es perjudicial para la salud del cartílago.

Treinta y seis estudios informaron de cambios en parámetros óseos como el aumento de la DMO, el AST, el número trabecular, el aumento del área cortical y el CMO, siendo la cadera y la columna vertebral las localizaciones más señaladas. Estas adaptaciones se observaron en diferentes poblaciones y grupos de edad, como personas sanas, niños, mujeres premenopáusicas, personas con ictus, hombres con cáncer de próstata e incluso personas con lesiones medulares, y como resultado de ejercicios de resistencia, aeróbicos y pliométricos. Se sabe que el tejido óseo es sensible a las cargas mecánicas y que desencadena diferentes respuestas, como el aumento de la densidad mineral ósea y de la resistencia mediante la estimulación de las células madre mesenquimales, los osteoprogenitores, los osteoblastos y los osteocitos terminalmente diferenciados (Yuan et al., [2016](#)). La estimulación mecánica del hueso comienza con la actividad muscular que provoca una ligera flexión del hueso. Esta flexión inicia el flujo de fluido dentro de la red lacuno-

canicular del interior de los huesos que, a su vez, estimula el osteocito, desencadenando la remodelación ósea (Gusmão y Belangero, [2015](#); Rosa et al., [2015](#)). Tres estudios no informaron de ninguna interacción entre el ejercicio y los parámetros óseos. Wochna et al. ([2019](#)) utilizó una intervención de seis meses de clases de *aqua fitness* en mujeres posmenopáusicas, y no se observaron cambios en la densidad mineral ósea en todo el cuerpo, la cadera izquierda o la columna vertebral ni cambios en los marcadores de recambio óseo. Los autores señalaron, como limitación de su estudio, el pequeño tamaño de la muestra, lo que podría explicar los resultados obtenidos. Karinkanta et al. ([2007](#)) aplicaron un programa de ejercicios de doce meses consistente en entrenamiento de resistencia, entrenamiento de equilibrio y saltos, una combinación de ambos y grupo de control, respectivamente. Aunque no se observaron cambios en la DMO, se produjo un aumento de la fuerza del cuello femoral, tanto en el grupo de resistencia como en el combinado y una disminución del 2% menos del índice de fuerza ósea en el grupo combinado en comparación con el grupo de control en el eje tibial. Los autores plantearon la hipótesis de que esto podría deberse a una redistribución del mineral óseo dentro del cuello femoral y la tibia en respuesta al ejercicio y no a un aumento del mineral óseo per se. Greene et al. ([2009](#)) utilizaron un protocolo de caídas de ocho meses en niñas prepúberes. El protocolo consistía en caídas unilaterales con alturas de 14 cm y 28 cm. No observaron cambios en la geometría ósea, las propiedades biomecánicas ni el índice de resistencia ósea. Los autores plantearon la hipótesis de que las razones por las que no se observaron cambios se debieron a la corta duración de la carga (momento de aterrizaje), la intensidad moderada (las alturas relativamente bajas utilizadas) y la falta de variabilidad en el movimiento. La intensidad moderada de los aterrizajes en caída podría explicar los resultados observados, ya que se ha observado en los artículos de esta revisión que la corta duración de la carga, como la que se experimenta durante el *footing*, y la falta de variabilidad en el movimiento, como ocurre en los ejercicios pliométricos, pueden provocar cambios en el hueso.

Dos estudios observaron un aumento del volumen y del AST en el ligamento cruzado anterior (LCA) y en el ligamento cruzado posterior (LCP), respectivamente. Se sabe que la exposición del ligamento a cargas mecánicas provoca un aumento de la rigidez del tejido (Frank, [2004](#)), aunque se sabe poco sobre los detalles de este proceso. Una prueba de la adaptación mecánica es el proceso denominado “ligamentización”, que hace referencia a un cambio en las propiedades histológicas que experimenta un injerto de tendón cuando se utiliza para la reconstrucción del LCA en el que, con el tiempo, el injerto de tendón empieza a parecerse más a un LCA normal que a un tendón. Estos cambios en las propiedades histológicas se han observado tanto en estudios con animales como con seres humanos y podrían explicarse por las fuerzas mecánicas que experimenta el ligamento durante la marcha normal y las actividades deportivas (Claes et al., [2011](#); Pauzenberger et al., [2013](#)). Los estudios incluidos en esta revisión tenían un diseño observacional y los tejidos estudiados fueron el LCA y el LCP. Podría ser que las fuerzas experimentadas en la rodilla, que se traducen en el LCA y el LCP, durante la sentadilla o la carrera sean las que desencadenen la adaptación del ligamento.

Nueve estudios de esta revisión informaron de cambios en el tendón como el aumento de la rigidez y la AST. Se observó que estas adaptaciones se producían en el tendón rotuliano y el tendón de Aquiles, en poblaciones sanas, en diferentes grupos de edad y como resultado del ejercicio aeróbico y de resistencia y de diferentes deportes como el voleibol, el baloncesto, la pista de saltos, la pista de campo, entre otros. La principal célula mecanosensible del



tendón es el tenocito; este es sensible a las cargas mecánicas a través de una serie de mecanismos y vías de señalización como el cilio primario, el calcio intracelular entre otros (Lavagnino et al., [2015](#); Munukka et al., [2016](#)), induciendo así cambios bioquímicos en los tendones que afectan al diámetro de las fibrillas de colágeno y al AST (Wang, [2006](#)). Aún se debate si el aumento de la rigidez y el AST pueden ser beneficiosos o no. Por ejemplo, en atletas que se recuperan de una tendinopatía rotuliana, una disminución de la rigidez se asocia a una mejora de los resultados clínicos (Breda et al., [2022](#)) mientras que otros autores han descubierto que una mayor rigidez rotuliana puede estar relacionada con una mejora mecánica en la transmisión de la fuerza durante la contracción muscular (Cristi-Sánchez et al., [2019](#)) y almacenamiento y liberación de energía (Wiesinger et al., [2016](#)), y protección contra lesiones por esfuerzo (Radovanović et al., [2022](#)).

Siete estudios informaron de cambios en el músculo, como un aumento de la masa magra del muslo (MML), de las fibras de tipo I y II, AST y del volumen muscular. Estas adaptaciones se produjeron tanto en mujeres como en hombres, en poblaciones jóvenes y de edad avanzada y como resultado del ejercicio de resistencia. El ejercicio de resistencia suele promover la hipertrofia muscular, con un aumento del AST muscular (Moggetti et al., [2016](#)). Mientras que los filamentos de miosina y actina en el interior del sarcómero son los responsables de la contracción muscular, existen una serie de posibles estructuras mecanosensoras en el sarcómero, como 1) el disco Z, que proporciona un punto focal para la transmisión de fuerza entre sarcómeros y actúa como anclaje principal durante la sarcomerogénesis 2) los costámeros, que actúan como adhesiones focales en el interior del músculo esquelético 3) la titina, una proteína que se encuentra paralela a la actina y la miosina y 4) la filamina-C y la Bag3, proteínas que residen en el interior del disco Z. También se ha propuesto que la deformación experimentada por los mionúcleos como consecuencia de la carga del citoesqueleto, junto con las proteínas anteriormente mencionadas, activa una cascada de señalización que desencadena la adaptación del músculo (Jani y Schöck, [2009](#); Wackerhage et al., [2019](#)).

Tres estudios informaron de adaptaciones específicas en respuesta al tipo de contracción, en los que las contracciones concéntricas provocaron un aumento del ángulo de pennación (AP), mientras que las contracciones excéntricas indujeron un aumento de la longitud del fascículo (LF). Aunque aún no se comprenden las razones, y aunque ambos tipos de contracciones promueven un aumento de la masa muscular, parece existir una adaptación específica al tipo de contracción. Por ejemplo, como resultado de una contracción concéntrica se produce un aumento de sarcómeros en paralelo, aumentando así el vientre medio del músculo y aumentando la AP, mientras que, como resultado de contracciones excéntricas, se produce un aumento de sarcómeros en serie, aumentando la LF (Franchi et al., [2017](#)).

Fortalezas y limitaciones

La principal fortaleza de esta revisión es que es la primera que resume los cambios morfológicos en el sistema osteomuscular en respuesta al ejercicio crónico.

Es necesario discutir las limitaciones. En primer lugar, debido a los términos de ejercicio que a menudo se utilizan indistintamente en la bibliografía, como “ejercicio de resistencia” o “ejercicio cardiometabólico” para referirse al ejercicio aeróbico, “entrenamiento con pesas” o “entrenamiento de fuerza” para referirse al ejercicio de resistencia y “actividad física” o “carga fisiológica” para referirse al ejercicio, es posible que algunos artículos no se hayan incluido en esta revisión. En segundo lugar, debido a la heterogeneidad de los estudios, como la

población o el tejido estudiado y el tipo de intervención de ejercicio, no fue posible realizar un meta-análisis.

5. Conclusión

El ejercicio tiene la capacidad de desencadenar adaptaciones morfológicas en los tejidos del sistema osteomuscular. Estas adaptaciones son específicas de cada tejido y pueden ir desde un aumento de grosor, volumen y rigidez, y se producen principalmente debido al ejercicio aeróbico, de resistencia y pliométrico. Aunque está claro que los tejidos pueden adaptarse, aún persisten varias interrogantes. Se desconoce la dosis mínima necesaria para provocar dichas adaptaciones o qué tipo de ejercicio es el mejor para desencadenarlas. Aunque se ha demostrado que se producen adaptaciones en presencia de cambios patológicos, como la osteopenia y la osteoporosis, se desconoce hasta qué punto pueden adaptarse estos tejidos, o incluso si pueden producirse adaptaciones mientras el tejido está lesionado. Además, aún no se sabe si estas adaptaciones son perjudiciales, como el engrosamiento de un ligamento o un tendón, o si pueden ser beneficiosas, como la mejora de los resultados funcionales en el deporte o el bienestar general, o si estas adaptaciones son constantes a lo largo de la vida. Para avanzar en la práctica de la medicina del ejercicio, los estudios futuros deberían abordar estas cuestiones.

Financiamiento: No se recibió financiamiento para esta revisión.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses

Traducción al español: elaborada por los autores

Contribuciones: Felix León (B-C-D-E), Andres Mestre (B-C-D-E), Lorelu Priego (B-C-D) y Juan Carlos Vera (B-C-D)

A-Financiación, **B-**Diseño del estudio, **C-**Recogida de datos, **D-**Análisis estadístico e interpretación de los resultados, **E-** Preparación del manuscrito.

Los autores de este manuscrito son Licenciados en Terapia Física.

6. Referencias

* Estudios incluidos en la revisión.

Alghadir, A., Gabr, S., Al-Eisa, E., y Al-Ghadir, M. (2016). Correlation between bone mineral density and serum trace elements in response to supervised aerobic training in older adults. *Dovepress*, 2016(11), 265-273. <https://doi.org/10.2147/CIA.S100566>

*Arampatzis, A., Karamanidis, K., y Albracht, K. (2007). Adaptational responses of the human Achilles tendon by modulation of the applied cyclic strain magnitude. *Journal of*

- Experimental Biology*, 210(Pt 15), 2743-2753. <https://doi.org/10.1242/jeb.003814>
- *Armagan, O., Yilmazer, S., CalıSır, C., Ozgen, M., Tascioglu, F., Oner, S., y Akcar, N. (2015). Comparison of the symptomatic and chondroprotective effects of glucosamine sulphate and exercise treatments in patients with knee osteoarthritis. *Journal of Back Musculoskeletal Rehabilitation*, 28(2), 287-293. <https://doi.org/10.3233/BMR-140516>
- *Bailey, C. A., y Brooke-Wavell, K. (2010). Optimum frequency of exercise for bone health: Randomised controlled trial of a high-impact unilateral intervention. *Bone*, 46(4), 1043-1049. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2009.12.001>
- *Bailey, C. A., Kukuljan, S., y Daly, R. M. (2010). Effects of lifetime loading history on cortical bone density and its distribution in middle-aged and older men. *Bone*, 47(3), 673-680. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S8756328210013414?via%3Dihub>
- *Belavy, D. L., Quittner, M. J., Ridgers, N., Ling, Y., Connell, D., y Rantalainen, T. (2017). Running exercise strengthens the intervertebral disc. *Scientific Reports*, 7, 45975. <https://www.nature.com/articles/srep45975>
- *Belavy, D. L., Quittner, M., Ridgers, N. D., Ling, Y., Connell, D., Trudel, G., y Rantalainen, T. (2019). Beneficial Intervertebral Disc and Muscle Adaptations in High-Volume Road Cyclists. *Medicine y Science in Sports Exercise*, 51(1), 211-217. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000001770>
- *Benli Küçük, E., Özyemişci Taşkıran, O., Tokgöz, N., y Meray, J. (2017). Effects of isokinetic, isometric, and aerobic exercises on clinical variables and knee cartilage volume using magnetic resonance imaging in patients with osteoarthritis. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 64(1), 8-16. <https://doi.org/10.5606/tftrd.2018.795>
- *Bickel, C. S., Cross, J. M., y Bamman, M. M. (2011). Exercise dosing to retain resistance training adaptations in young and older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(7), 1177-1187. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318207c15d>
- Bini, R. R., y Bini, A. F. (2020). Effects of exercise mode in knee cartilage thickness. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 24(4), 490-495. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2020.05.006>
- *Bohm, S., Mersmann, F., Tettke, M., Kraft, M., y Arampatzis, A. (2014). Human achilles tendon plasticity in response to cyclic strain: Effect of rate and duration. *Journal of Experimental Biology*, 217(22), 4010-4017. <https://doi.org/10.1242/jeb.112268>
- *Bolton, K. L., Egerton, T., Wark, J., Wee, E., Matthews, B., Kelly, A., Craven, R., Kantor, S., y Bennell, K. L. (2012). Effects of exercise on bone density and falls risk factors in post-menopausal women with osteopenia: A randomised controlled trial. *Journal of Sciences and Medicine in Sport*, 15(2), 102-109. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2011.08.007>
- *Bowden, J. A., Bowden, A. E., Wang, H., Hager, R. L., LeCheminant, J. D., y Mitchell, U. H. (2018). In vivo correlates between daily physical activity and intervertebral disc health. *Journal of Orthopaedic Research*, 36(5), 1313-1323. <https://doi.org/10.1002/jor.23765>
- Breda, S. J., Vos, R.-J. de, Krestin, G. P., y Oei, E. H. G. (2022). Decreasing patellar tendon stiffness during exercise therapy for patellar tendinopathy is associated with better outcome. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 25(5), 372-378. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2022.01.002>
- Claes, S., Verdonk, P., Forsyth, R., y Bellemans, J. (2011). The “ligamentization” process in anterior cruciate ligament reconstruction: What happens to the human graft? A

- systematic review of the literature. *The American Journal of Sports Medicine*, 39(11), 2476-2483. <https://doi.org/10.1177/0363546511402662>
- Coffey, V. G., y Hawley, J. A. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports Medicine*, 37(9), 737-763. <https://link.springer.com/article/10.2165/00007256-200737090-00001>
- Coffey, V. G., Pilegaard, H., Garnham, A. P., O'Brien, B. J., y Hawley, J. A. (2009). Consecutive bouts of diverse contractile activity alter acute responses in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 106(4), 1187-1197. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.91221.2008>
- *Cotofana, S., Ring-Dimitriou, S., Hudelmaier, M., Himmer, M., Wirth, W., Sängler, A. M., y Eckstein, F. (2010). Effects of exercise intervention on knee morphology in middle-aged women: A longitudinal analysis using magnetic resonance imaging. *Cells Tissues Organs*, 192(1), 64-72. <https://doi.org/10.1159/000289816>
- Cristi-Sánchez, I., Danes-Daetz, C., Neira, A., Ferrada, W., Yáñez Díaz, R., y Silvestre Aguirre, R. (2019). Patellar and Achilles Tendon Stiffness in Elite Soccer Players Assessed Using Myotonometric Measurements. *Sports Health*, 11(2), 157-162. <https://doi.org/10.1177/1941738118820517>
- Crowder, H. A., Mazzoli, V., Black, M. S., Watkins, L. E., Kogan, F., Hargreaves, B. A., Levenston, M. E., y Gold, G. E. (2021). Characterizing the transient response of knee cartilage to running: Decreases in cartilage T(2) of female recreational runners. *J Orthop Res*, 39(11), 2340-2352. <https://doi.org/10.1002/jor.24994>
- *Detter, F. T. L., Rosengren, B. E., Dencker, M., Nilsson, J.-Å., y Karlsson, M. K. (2013). A 5-Year Exercise Program in Pre- and Peripubertal Children Improves Bone Mass and Bone Size Without Affecting Fracture Risk. *Calcified Tissue International*, 92(4), 385-393. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-012-9691-5>
- Downes, M. J., Brennan, M. L., Williams, H. C., y Dean, R. S. (2016). Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). *BMJ Open*, 6(12), e011458. <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2016-011458>
- *Dowthwaite, J. N., Flowers, P. P. E., Spadaro, J. A., y Scerpella, T. A. (2007). Bone Geometry, Density, and Strength Indices of the Distal Radius Reflect Loading via Childhood Gymnastic Activity. *Journal of Clinical Densitometry*, 10(1), 65-75. <https://doi.org/10.1016/j.jocd.2006.10.003>
- *Draghici, A. E., Taylor, J. A., Bouxsein, M. L., y Shefelbine, S. J. (2019). Effects of FES-Rowing Exercise on the Time-Dependent Changes in Bone Microarchitecture After Spinal Cord Injury: A Cross-Sectional Investigation. *JBMR Plus*, 3(9), e10200. <https://doi.org/10.1002/jbm4.10200>
- *Du, J., Hartley, C., Brooke-Wavell, K., Paggio-Sí, M. A., Walsh, J. S., Li, S., y Silberschmidt, V. V. (2021). High-impact exercise stimulated localised adaptation of microarchitecture across distal tibia in postmenopausal women. *Osteoporosis International*, 32(5), 907-919. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00198-020-05714-4>
- *Ducher, G., Bass, S. L., Saxon, L., y Daly, R. M. (2011). Effects of repetitive loading on the growth-induced changes in bone mass and cortical bone geometry: A 12-month study in pre/per- and postmenarcheal tennis players. *Journal of Bone and Mineral Research*, 26(6), 1321-1329. <https://doi.org/10.1002/jbmr.323>
- *Ducher, G., Daly, R. M., y Bass, S. L. (2009). Effects of Repetitive Loading on Bone Mass and Geometry in Young Male Tennis Players: A Quantitative Study Using MRI. *Journal*



- of Bone and Mineral Research*, 24(10), 1686-1692.
<https://doi.org/10.1359/jbmr.090415>
- *Ducher, G., Prouteau, S., Courteix, D., y Benhamou, C. L. (2004). Cortical and trabecular bone at the forearm show different adaptation patterns in response to tennis playing. *Journal of Clinical Densitometry*, 7(4), 399-405. <https://doi.org/10.1385/JCD:7:4:399>
- Dunn, S. L., y Olmedo, M. L. (2016). Mechanotransduction: Relevance to Physical Therapist Practice-Understanding Our Ability to Affect Genetic Expression Through Mechanical Forces. *Physical Therapy*, 96(5), 712-721. <https://doi.org/10.2522/ptj.20150073>
- *Epro, G., Hunter, S., König, M., Schade, F., y Karamanidis, K. (2019). Evidence of a Uniform Muscle-Tendon Unit Adaptation in Healthy Elite Track and Field Jumpers: A Cross Sectional Investigation. *Frontiers in Physiology*, 10, 574. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00574>
- *Epro, G., Mierau, A., Doerner, J., Luetkens, J. A., Scheef, L., Kukuk, G. M., Boecker, H., Maganaris, C. N., Brüggemann, G.-P., y Karamanidis, K. (2017). The Achilles tendon is mechanosensitive in older adults: Adaptations following 14 weeks versus 1.5 years of cyclic strain exercise. *Journal of Experimental Biology*, 220(6), 1008-1018. <https://doi.org/10.1242/jeb.146407>
- Esculier, J. F., Jarrett, M., Krowchuk, N. M., Rauscher, A., Wiggermann, V., Taunton, J. E., Wilson, D. R., Gatti, A. A., y Hunt, M. A. (2019). Cartilage recovery in runners with and without knee osteoarthritis: A pilot study. *The Knee Journal*, 26(5), 1049-1057. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2019.07.011>
- Fearing, B. V., Hernandez, P. A., Setton, L. A., y Chahine, N. O. (2018). Mechanotransduction and cell biomechanics of the intervertebral disc. *JOR Spine*, 1(3). <https://doi.org/10.1002/jsp2.1026>
- *Fernandez-Gonzalo, R., Lundberg, T. R., Alvarez-Alvarez, L., y De Paz, J. A. (2014). Muscle damage responses and adaptations to eccentric-overload resistance exercise in men and women. *European Journal of Applied Physiology*, 114(5), 1075-1084. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-014-2836-7>
- *Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M., y Narici, M. V. (2014). Architectural, functional and molecular responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta Physiologica*, 210(3), 642-654. <https://doi.org/10.1111/apha.12225>
- Franchi, M. V., Reeves, N. D., y Narici, M. V. (2017). Skeletal Muscle Remodeling in Response to Eccentric vs. Concentric Loading: Morphological, Molecular, and Metabolic Adaptations. *Frontiers in Physiology*, 8(447). <https://doi.org/10.3389/fphys.2017.00447>
- *Franchi, M. V., Wilkinson, D. J., Quinlan, J. I., Mitchell, W. K., Lund, J. N., Williams, J. P., Reeves, N. D., Smith, K., Atherton, P. J., y Narici, M. V. (2015). Early structural remodeling and deuterium oxide-derived protein metabolic responses to eccentric and concentric loading in human skeletal muscle. *Physiological Reports*, 3(11), e12593. <https://doi.org/10.14814/phy2.12593>
- Frank, C. B. (2004). Ligament structure, physiology and function. *Journal of Musculoskeletal & Neuronal Interactions*, 4(2), 199-201. <https://www.ismni.org/jmni/pdf/16/21FRANK.pdf>
- *Gabr, S., Al-Ghadir, M.H., Alghadir, A. y Al-Eisa, E. (2016). Correlation between bone mineral density and serum trace elements in response to supervised aerobic training in older



- p adults.
- Clinical Interventions in Aging*
- , 2016(11), 265-273.
-
- <https://doi.org/10.2147/CIA.S100566>
- Gilbert, S. J., y Blain, E. J. (2018). Cartilage mechanobiology: How chondrocytes respond to mechanical load. In S. Verbruggen (Ed.), *Mechanobiology in Health and Disease* (pp. 99-126). Academic Press. <https://orca.cardiff.ac.uk/id/eprint/114560/>
- *Greene, D. A., Wiebe, P. N., y Naughton, G. A. (2009). Influence of Drop-Landing Exercises on Bone Geometry and Biomechanical Properties in Prepubertal Girls: A Randomized Controlled Study. *Calcified Tissue International*, 85(2), 94-103.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-009-9253-7>
- *Grzelak, P., Podgorski, M., Stefanczyk, L., Krochmalski, M., y Domzalski, M. (2012). Hypertrophied cruciate ligament in high performance weightlifters observed in magnetic resonance imaging. *International Orthopaedics*, 36(8), 1715-1719.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00264-012-1528-3>
- Gusmão, C. V. B. de, y Belangero, W. D. (2015). HOW DO BONE CELLS SENSE MECHANICAL LOADING? *Revista Brasileira de Ortopedia*, 44(4), 299-305.
[https://doi.org/10.1016%2FS2255-4971\(15\)30157-9](https://doi.org/10.1016%2FS2255-4971(15)30157-9)
- *Häkkinen, K., Pakarinen, A., Hannonen, P., Häkkinen, A., Airaksinen, O., Valkeinen, H., y Alen, M. (2002). Effects of strength training on muscle strength, cross-sectional area, maximal electromyographic activity, and serum hormones in premenopausal women with fibromyalgia. *The Journal of Rheumatology*, 29(6), 1287-1295.
<https://www.jrheum.org/content/29/6/1287.long>
- *Harding, A. T., Weeks, B. K., Lambert, C., Watson, S. L., Weis, L. J., y Beck, B. R. (2020). Effects of supervised high-intensity resistance and impact training or machine-based isometric training on regional bone geometry and strength in middle-aged and older men with low bone mass: The LIFTMOR-M semi-randomised controlled trial. *Bone*, 136, 115362. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2020.115362>
- Harkey, M. S., Blackburn, J. T., Hackney, A. C., Lewek, M. D., Schmitz, R. J., Nissman, D., y Pietrosimone, B. (2018). Comprehensively Assessing the Acute Femoral Cartilage Response and Recovery after Walking and Drop-Landing: An Ultrasonographic Study. *Ultrasound Med Biol*, 44(2), 311-320.
<https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2017.10.009>
- *Hasselstrøm, H. A., Karlsson, M. K., Hansen, S. E., Grønfeltdt, V., Froberg, K., y Andersen, L. B. (2008). A 3-Year Physical Activity Intervention Program Increases the Gain in Bone Mineral and Bone Width in Prepubertal Girls but not Boys: The Prospective Copenhagen School Child Interventions Study (CoSCIS). *Calcified Tissue International*, 83(4), 243-250. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-008-9166-x>
- *Heinonen, A., Sievänen, H., Kannus, P., Oja, P., y Vuori, I. (2002). Site-Specific Skeletal Response to Long-Term Weight Training Seems to be Attributable to Principal Loading Modality: A pQCT Study of Female Weightlifters. *Calcified Tissue International*, 70(6), 469-474. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-001-1019-9>
- *Hinterwimmer, S., Feucht, M. J., Steinbrech, C., Graichen, H., y von Eisenhart-Rothe, R. (2014). The effect of a Six-month training program followed by a marathon run on knee joint cartilage volume and thickness in marathon beginners. *Knee Surgery Sports Traumatology Arthroscopy*, 22(6), 1353-1359.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s00167-013-2686-6>



- *Holm, L., Reitelseder, S., Pedersen, T. G., Doessing, S., Petersen, S. G., Flyvbjerg, A., Andersen, J. L., Aagaard, P., y Kjaer, M. (2008). Changes in muscle size and MHC composition in response to resistance exercise with heavy and light loading intensity. *Journal of Applied Physiology*, 105(5), 1454-1461. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.90538.2008>
- Hughes, D. C., Ellefsen, S., y Baar, K. (2018). Adaptations to Endurance and Strength Training. *Cold Spring Harbor Perspectives in Medicine*, 8(6), a029769. <https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029769>
- *Hughes, J. M., Gaffney-Stomberg, E., Guerriere, K. I., Taylor, K. M., Popp, K. L., Xu, C., Unnikrishnan, G., Staab, J. S., Matheny, R. W., Jr., McClung, J. P., Reifman, J., y Bouxsein, M. L. (2018). Changes in tibial bone microarchitecture in female recruits in response to 8 weeks of U.S. Army Basic Combat Training. *Bone*, 113, 9-16. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S8756328218301753?via%3Dihub>
- Iatridis, J. C., MacLean, J. J., Roughley, P. J., y Alini, M. (2006). Effects of mechanical loading on intervertebral disc metabolism in vivo. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 88 (Suppl. 2), 41-46. <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.01407>
- Jani, K., y Schöck, F. (2009). Molecular mechanisms of mechanosensing in muscle development. *Dev Dyn*, 238(6), 1526-1534. <https://doi.org/10.1002/dvdy.21972>
- *Karamanidis, K., y Epro, G. (2020). Monitoring Muscle-Tendon Adaptation Over Several Years of Athletic Training and Competition in Elite Track and Field Jumpers. *Frontiers in Physiology*, 11, 607544. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fphys.2020.607544/full>
- *Karinkanta, S., Heinonen, A., Slevänen, H., Uusi-Rasi, K., Pasanen, M., Ojala, K., Fogelholm, M., y Kannus, P. (2007). A multi-component exercise regimen to prevent functional decline and bone fragility in home-dwelling elderly women: Randomized, controlled trial. *Osteoporosis International*, 18(4), 453-462. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00198-006-0256-1>
- Kersting, U. G., Stubendorff, J. J., Schmidt, M. C., y Brüggemann, G. P. (2005). Changes in knee cartilage volume and serum COMP concentration after running exercise. *Osteoarthritis Cartilage*, 13(10), 925-934. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2005.06.005>
- *Khanzadeh, R., Mahdavinnejad, R., y Borhani, A. (2020). The Effect of Suspension and Conventional Core Stability Exercises on Characteristics of Intervertebral Disc and Chronic Pain in Office Staff Due to Lumbar Herniated Disc. *The Archives of Bone and Joint Surgery*, 8(3), 445-453. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7358225/>
- *Koli, J., Multanen, J., Kujala, U. M., Häkkinen, A., Nieminen, M. T., Kautiainen, H., Lammintausta, E., Jämsä, T., Ahola, R., Selänne, H., Kiviranta, I., y Heinonen, A. (2015). Effects of Exercise on Patellar Cartilage in Women with Mild Knee Osteoarthritis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 47(9), 1767-1774. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000629>
- Küçük, E. B., Taşkıran, Ö. Ö., Tokgöz, N., y Meray, J. (2018). Effects of isokinetic, isometric, and aerobic exercises on clinical variables and knee cartilage volume using magnetic resonance imaging in patients with osteoarthritis. *Turkish Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 64(1), 8-16. <https://doi.org/10.5606/tftrd.2018.795>
- *Kukuljan, S., Nowson, C. A., Sanders, K. M., Nicholson, G. C., Seibel, M. J., Salmon, J., y Daly, R. M. (2011). Independent and Combined Effects of Calcium-Vitamin D3 and



- Exercise on Bone Structure and Strength in Older Men: An 18-Month Factorial Design Randomized Controlled Trial. *The Journal of Clinical Endocrinology y Metabolism*, 96(4), 955-963. <https://doi.org/10.1210/jc.2010-2284>
- *Lambert, C., Beck, B. R., Harding, A. T., Watson, S. L., y Weeks, B. K. (2020). Regional changes in indices of bone strength of upper and lower limbs in response to high-intensity impact loading or high-intensity resistance training. *Bone*, 132, 115192. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2019.115192>
- *Lang, T. F., Saeed, I. H., Streeper, T., Carballido-Gamio, J., Harnish, R. J., Frassetto, L. A., Lee, S. M., Sibonga, J. D., Keyak, J. H., Spiering, B. A., Grodzinsky, C. M., Bloomberg, J. J., y Cavanagh, P. R. (2014). Spatial Heterogeneity in the Response of the Proximal Femur to Two Lower-Body Resistance Exercise Regimens. *Journal of Bone and Mineral Research*, 29(6), 1337-1345. <https://doi.org/10.1002%2Fjbmr.2155>
- Lavagnino, M., Wall, M. E., Little, D., Banes, A. J., Guilak, F., y Arnoczky, S. P. (2015). Tendon mechanobiology: Current knowledge and future research opportunities. *Journal of Orthopaedic Research*, 33(6), 813-822. <https://doi.org/10.1002/jor.22871>
- León, F., Mestre, A., Priego, L., y Vera, J. C. (2023). Full study of Morphological adaptations in response to chronic exercise across musculoskeletal tissues: a systematic review. *Pensar en Movimiento: Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 21(1), 1-21. <https://doi.org/10.15517/pensarmov.v21i1.55427>
- Maher, C. G., Sherrington, C., Herbert, R. D., Moseley, A. M., y Elkins, M. (2003). Reliability of the PEDro Scale for Rating Quality of Randomized Controlled Trials. *Physical Therapy*, 83(8), 713-721. <https://doi.org/10.1093/ptj/83.8.713>
- *Marques, E. A., Mota, J., Machado, L., Sousa, F., Coelho, M., Moreira, P., y Carvalho, J. (2011). Multicomponent Training Program with Weight-Bearing Exercises Elicits Favorable Bone Density, Muscle Strength, and Balance Adaptations in Older Women. *Calcified Tissue International*, 88(2), 117-129. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-010-9437-1>
- *Marques, E. A., Mota, J., Viana, J. L., Tuna, D., Figueiredo, P., Guimarães, J. T., y Carvalho, J. (2013). Response of bone mineral density, inflammatory cytokines, and biochemical bone markers to a 32-week combined loading exercise programme in older men and women. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 57(2), 226-233. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2013.03.014>
- *Marzilger, R., Bohm, S., Mersmann, F., y Arampatzis, A. (2020). Modulation of physiological cross-sectional area and fascicle length of vastus lateralis muscle in response to eccentric exercise. *Journal of Biomechanics*, 111, 110016. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2020.110016>
- *Milgrom, Y., Milgrom, C., Altaras, T., Globus, O., Zeltzer, E., y Finestone, A. S. (2014). Achilles tendons hypertrophy in response to high loading training. *Foot Ankle International*, 35(12), 1303-1308. <https://doi.org/10.1177/1071100714550651>
- *Milliken, L. A., Going, S. B., Houtkooper, L. B., Flint-Wagner, H. G., Figueroa, A., Metcalfe, L. L., Blew, R. M., Sharp, S. C., y Lohman, T. G. (2003). Effects of exercise training on bone remodeling, insulin-like growth factors, and bone mineral density in postmenopausal women with and without hormone replacement therapy. *Calcified Tissue International*, 72(4), 478-484. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-001-1128-5>
- Moggetti, P., Bacchi, E., Brangani, C., Donà, S., y Negri, C. (2016). Metabolic Effects of



- Exercise. *Frontiers of Hormone Research*, 47, 44-57.
<https://doi.org/10.1159/000445156>
- *Morse, L. R., Troy, K. L., Fang, Y., Nguyen, N., Battaglini, R., Goldstein, R. F., Gupta, R., y Taylor, J. A. (2019). Combination Therapy with Zoledronic Acid and FES-Row Training Mitigates Bone Loss in Paralyzed Legs: Results of a Randomized Comparative Clinical Trial. *JBMR Plus*, 3(5), e10167. <https://doi.org/10.1002/jbm4.10167>
- *Munukka, M., Waller, B., Rantalainen, T., Häkkinen, A., Nieminen, M. T., Lammentausta, E., Kujala, U. M., Paloneva, J., Sipilä, S., Peuna, A., Kautiainen, H., Selänne, H., Kiviranta, I., y Heinonen, A. (2016). Efficacy of progressive aquatic resistance training for tibiofemoral cartilage in postmenopausal women with mild knee osteoarthritis: A randomised controlled trial. *Osteoarthritis and Cartilage*, 24(10), 1708-1717. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.05.007>
- *Myrick, K. M., Voss, A., Feinn, R. S., Martin, T., Mele, B. M., y Garbalosa, J. C. (2019). Effects of season long participation on ACL volume in female intercollegiate soccer athletes. *Journal of Experimental Orthopaedics*, 6(1). <https://jeo-esska.springeropen.com/articles/10.1186/s40634-019-0182-8>
- *Nilsson, M., Ohlsson, C., Mellström, D., y Lorentzon, M. (2013). Sport-specific association between exercise loading and the density, geometry, and microstructure of weight-bearing bone in young adult men. *Osteoporosis International*, 24(5), 1613-1622. <https://doi.org/10.1007%2Fs00198-012-2142-3>
- *O'Leary, T. J., Izard, R. M., Walsh, N. P., Tang, J. C. Y., Fraser, W. D., y Greeves, J. P. (2019). Skeletal macro- and microstructure adaptations in men undergoing arduous military training. *Bone*, 125, 54-60. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S8756328219301735?via%3Dihub>
- *Owen, P. J., Hangai, M., Kaneoka, K., Rantalainen, T., y Belavy, D. L. (2021). Mechanical loading influences the lumbar intervertebral disc. A cross-sectional study in 308 athletes and 71 controls. *Journal of Orthopaedic Research*, 39(5), 989-997. <https://doi.org/10.1002/jor.24809>
- *Owen, P. J., Miller, C. T., Rantalainen, T., Símson, K. J., Connell, D., Hahne, A. J., Trudel, G., Ford, J. J., y Belavy, D. L. (2020). Exercise for the intervertebral disc: A 6-month randomised controlled trial in chronic low back pain. *European Spine Journal*, 29(8), 1887-1899. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00586-020-06379-7>
- Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., Shamseer, L., Tetzlaff, J. M., Akl, E. A., Brennan, S. E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J. M., Hróbjartsson, A., Lalu, M. M., Li, T., Loder, E. W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., ... Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *The BMJ*, 372, n71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- *Pang, M. Y. C., Ashe, M. C., Eng, J. J., McKay, H. A., y Dawson, A. S. (2006). A 19-week exercise program for people with chronic stroke enhances bone geometry at the tibia: A peripheral quantitative computed tomography study. *Osteoporosis International*, 17(11), 1615-1625. <https://doi.org/10.1007%2Fs00198-006-0168-0>
- Pauzenberger, L., Syré, S., y Schurz, M. (2013). "Ligamentization" in hamstring tendon grafts after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review of the literature and a glimpse into the future. *Arthroscopy*, 29(10), 1712-1721.



<https://doi.org/10.1016/j.arthro.2013.05.009>

- Radovanović, G., Bohm, S., Peper, K. K., Arampatzis, A., y Legerlotz, K. (2022). Evidence-Based High-Loading Tendon Exercise for 12 Weeks Leads to Increased Tendon Stiffness and Cross-Sectional Area in Achilles Tendinopathy: A Controlled Clinical Trial. *Sports Medicine - Open*, 8(1), 149. <https://sportsmedicine-open.springeropen.com/articles/10.1186/s40798-022-00545-5>
- *Rantalainen, T., Nikander, R., Daly, R. M., Heinonen, A., y Slevänen, H. (2011). Exercise loading and cortical bone distribution at the tibial shaft. *Bone*, 48(4), 786-791. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2010.11.013>
- Rosa, N., Simoes, R., Magalhães, F. D., y Marques, A. T. (2015). From mechanical stimulus to bone formation: A review. *Medical Engineering & Physics*, 37(8), 719-728. <https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2015.05.015>
- Rothschild, J. A., y Bishop, D. J. (2020). Effects of Dietary Supplements on Adaptations to Endurance Training. *Sports Medicine*, 50(1), 25-53. <https://link.springer.com/article/10.1007/s40279-019-01185-8>
- Salvi, A. M., y DeMali, K. A. (2018). Mechanisms linking mechanotransduction and cell metabolism. *Current Opinion in Cell Biology*, 54, 114-120. <https://doi.org/10.1016/j.ceb.2018.05.004>
- *Specker, B., y Binkley, T. (2003). Randomized Trial of Physical Activity and Calcium Supplementation on Bone Mineral Content in 3- to 5-Year-Old Children. *Journal of Bone and Mineral Research*, 18(5), 885-892. <https://doi.org/10.1359/jbmr.2003.18.5.885>
- Stricker, P. R., Faigenbaum, A. D., McCambridge, T. M., y COUNCIL ON SPORTS MEDICINE AND FITNESS. (2020). Resistance Training for Children and Adolescents. *Pediatrics*, 145(6), e20201011. <https://doi.org/10.1542/peds.2020-1011>
- *Vainionpää, A., Korpelainen, R., Slevänen, H., Vihriälä, E., Leppäluoto, J., y Jämsä, T. (2007). Effect of impact exercise and its intensity on bone geometry at weight-bearing tibia and femur. *Bone*, 40(3), 604-611. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.10.005>
- *Valdimarsson, Ö., Linden, C., Johnell, O., Gardsell, P., & Karlsson, M. K. (2006). Daily Physical Education in the School Curriculum in Prepubertal Girls during 1 Year is Followed by an Increase in Bone Mineral Accrual and Bone Width—Data from the Prospective Controlled Malmö Pediatric Osteoporosis Prevention Study. *Calcified Tissue International*, 78(2), 65-71. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00223-005-0096-6>
- Vincent, T. L., y Wann, A. K. T. (2019). Mechanoadaptation: Articular cartilage through thick and thin. *The Journal of Physiology*, 597(5), 1271-1281. <https://doi.org/10.1113/JP275451>
- Wackerhage, H., Schoenfeld, B. J., Hamilton, D. L., Lehti, M., y Hulmi, J. J. (2019). Stimuli and sensors that initiate skeletal muscle hypertrophy following resistance exercise. *Journal of Applied Physiology*, 126(1), 30-43. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00685.2018>
- Wang, J. H.-C. (2006). Mechanobiology of tendon. *Journal of Biomechanics*, 39(9), 1563-1582. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2005.05.011>
- Wang, N. (2017). Review of Cellular Mechanotransduction. *Journal of Physics D: Applied Physics*, 50(23), 233002. <https://doi.org/10.1088%2F1361-6463%2Faa6e18>
- *Watson, S. L., Weeks, B. K., Weis, L. J., Horan, S. A., y Beck, B. R. (2015). Heavy resistance



- training is safe and improves bone, function, and stature in postmenopausal women with low to very low bone mass: Novel early findings from the LIFTMOR trial. *Osteoporosis International*, 26(12), 2889-2894. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00198-015-3263-2>
- *Werkhausen, A., Albracht, K., Cronin, N. J., Paulsen, G., Bojsen-Møller, J., y Seynnes, O. R. (2018). Effect of Training-Induced Changes in Achilles Tendon Stiffness on Muscle-Tendon Behavior During Landing. *Frontiers in Physiology*, 9, 794. <https://doi.org/10.3389/fphys.2018.00794>
- *Westh, E., Kongsgaard, M., Bojsen-Møller, J., Aagaard, P., Hansen, M., Kjaer, M., y Magnusson, S. P. (2007). Effect of habitual exercise on the structural and mechanical properties of human tendon, in vivo, in men and women. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18(1), 23-30. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00638.x>
- WieSinger, H.-P., Rieder, F., Kösters, A., Müller, E., y Seynnes, O. R. (2016). Are Sport-Specific Profiles of Tendon Stiffness and Cross-Sectional Area Determined by Structural or Functional Integrity? *PLOS ONE*, 11(6), e0158441. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158441>
- Wilson, J. M., Loenneke, J. P., Jo, E., Wilson, G. J., Zourdos, M. C., y Kim, J.-S. (2012). The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(6), 1724-1729. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e318234eb6f>
- *Winters-Stone, K. M., Dobek, J. C., Bennett, J. A., Maddalozzo, G. F., Ryan, C. W., y Beer, T. M. (2014). Skeletal Response to Resistance and Impact Training in Prostate Cancer Survivors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(8), 1482-1488. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000265>
- *Winters-Stone, K. M., Dobek, J., Nail, L. M., Bennett, J. A., Leo, M. C., Torgrimson-Ojerio, B., Luoh, S.-W., y Schwartz, A. (2013). Impact + resistance training improves bone health and body composition in prematurely menopausal breast cancer survivors: A randomized controlled trial. *Osteoporosis International*, 24(5), 1637-1646. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00198-012-2143-2>
- *Winters-Stone, K. M., y Snow, C. M. (2006). Site-specific response of bone to exercise in premenopausal women. *Bone*, 39(6), 1203-1209. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2006.06.005>
- *Wochna, K., Nowak, A., Huta-Osiecka, A., Sobczak, K., Kasprzak, Z., y Leszczyński, P. (2019). Bone Mineral Density and Bone Turnover Markers in Postmenopausal Women Subjected to an Aqua Fitness Training Program. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(14), 2505. <https://doi.org/10.3390/ijerph16142505>
- Yuan, Y., Chen, X., Zhang, L., Wu, J., Guo, J., Zou, D., Chen, B., Sun, Z., Shen, C., y Zou, J. (2016). The roles of exercise in bone remodeling and in prevention and treatment of osteoporosis. *Progress in Biophysics and Molecular Biology*, 122(2), 122-130. <https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2015.11.005>
- *Zhang, Z. J., Ng, G. Y. F., y Fu, S. N. (2015). Effects of habitual loading on patellar tendon mechanical and morphological properties in basketball and volleyball players. *European Journal of Applied Physiology*, 115(11), 2263-2269. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00421-015-3209-6>

Zhao, Z., Li, Y., Wang, M., Zhao, S., y Fang, J. (2020). Mechanotransduction pathways in the regulation of cartilage chondrocyte homeostasis. *J Cell Mol Med*, 24(10), 5408-5419.
<https://doi.org/10.1111/jcmm.15204>

Pensar en **Movimiento**

Realice su envío [aquí](#)

Consulte nuestras
normas de publicación
[aquí](#)

Indexada en:



pensarenmovimiento.eefd@ucr.ac.cr



[Revista Pensar en Movimiento](#)



[PensarMov](#)

-30-



Esta obra está bajo una

[Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional](#)