

Suplementación nutricional para la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio: ácidos grasos omega-3, curcumina y colágeno

Nutritional supplementation for recovery from exercise-induced muscle damage: omega-3 fatty acids, curcumin and collagen

Adrián Fernández Álvarez

Universidad Europea del Atlántico, España (adrianfa13@gmail.com) (<https://orcid.org/0009-0001-4045-4512>)

Información del manuscrito:

Recibido/Received: 30/05/25

Revisado/Reviewed: 04/06/25

Aceptado/Accepted: 16/06/26

RESUMEN

Palabras clave:

Suplementación deportiva, daño muscular, lesión muscular, inflamación, recuperación tisular.

Introducción: Evaluar la eficacia de la suplementación con omega-3, curcumina y colágeno sobre la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio. **Metodología:** Se realizó una revisión bibliográfica de 15 ensayos clínicos para la discusión, además de revisiones sistemáticas y metaanálisis para la contextualización del tema. Para el análisis de estudios, se tuvieron en cuenta aquellos que involucrasen los suplementos mencionados y una pauta deportiva para inducir el daño muscular. Salvo excepciones puntuales, los ensayos analizados tienen un máximo de cinco años de antigüedad y están únicamente realizados en humanos. **Resultados:** Las intervenciones prolongadas con dosis más altas de N-3 afectaron positivamente al EIMD, mientras que dosis más pequeñas y durante periodos más cortos no mostraron esos efectos. La suplementación con curcumina no modificó de manera significativa ni los marcadores inflamatorios ni los relacionados con el daño muscular. Finalmente, la suplementación con colágeno prolongada atenuó la percepción del dolor y redujo los biomarcadores de dolor muscular. La heterogeneidad de las dosis, duración y protocolos reafirma la necesidad de estudios futuros con metodologías estandarizadas. **Discusión:** La evidencia actual es mixta, no permitiendo realizar recomendaciones clínicas definitivas. Se requieren más estudios, con mayor espacio muestral y menos sesgados para definir pautas sólidas sobre la efectividad o no de los distintos suplementos evaluados.

ABSTRACT

Keywords:

Sports supplementation, muscle soreness, muscle injury, inflammation, tissue recovery.

Introduction: Nutritional supplementation for recovery from exercise-induced muscle damage: omega-3 fatty acids, curcumin, and collagen. **Methodology:** A bibliographic review was conducted, incorporating 15 clinical trials for detailed discussion, as well as systematic reviews and meta-analyses for contextual background. Studies were selected if they involved one of the target supplements alongside a standardized exercise protocol to induce muscle damage. Except for specific exceptions, all trials reviewed were published within the last five years and exclusively enrolled in humans. **Results:** Longer interventions with higher omega-3

doses consistently attenuated EIDM, whereas lower and shorter doses did not yield significant benefits. Curcumin supplementation failed to produce positive changes in inflammatory or muscle damage biomarkers. Finally, extended collagen supplementation reduced perceived muscle soreness and decreased muscle damage biomarkers. The marked heterogeneity in dosing, study duration and exercise protocols highlight the imperative for future research employing standardized methodologies. Discussion The current evidence is mixed, not allowing clinical recommendations to be made. Further randomized, placebo-controlled clinical trials with larger, more diverse sample space and rigorous design are needed to establish clear guidelines on the effectiveness of these supplements in mitigating EIMD.

Introducción

El daño muscular inducido por el ejercicio (DMIE) se manifiesta con síntomas que pueden aparecer justo después del ejercicio y durar hasta catorce días (1). Las lesiones musculares deportivas son un área de estudio compleja, ya que intervienen múltiples factores como el sexo, la edad, el estado nutricional, el nivel físico o la genética (2). En particular, el DMIE suele producirse tras movimientos a los que el cuerpo no está habituado, especialmente si implican contracciones excéntricas (3). Estas lesiones afectan al sistema musculoesquelético y se asocian con pérdida de masa muscular y fuerza (4). En este contexto, la nutrición juega un papel clave, ya que puede modular la inflamación y favorecer la regeneración tisular (5).

El primer reporte sobre la relación entre el ejercicio y el estrés oxidativo en humanos se publicó hace más de cuatro décadas (6). Además, con el daño muscular se provoca una respuesta inflamatoria, evidenciada por hinchazón, disminución del rango de movimiento y dolor (7). La mayoría de estudios que refieren haber encontrado patrones dietéticos con propiedades antiinflamatorias se han realizado en laboratorios o en animales (8), por lo que discernir la eficacia de ayudas ergogénicas de carácter nutricional con capacidad antioxidante y antiinflamatoria podría ser interesante de cara a modular ligeramente el DMIE.

Este tema es especialmente relevante no solo para la salud y el rendimiento físico, sino también para entender cómo ciertos suplementos pueden influir en la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio. Determinar si son ergogénicos y cómo utilizarlos según los objetivos individuales puede ser clave en el éxito de las intervenciones nutricionales (9). Una estrategia adecuada podría acelerar la recuperación del tejido musculoesquelético, reducir el impacto de la lesión y acortar el tiempo de retorno a la actividad.

Según la OMS, los trastornos musculoesqueléticos comprenden más de 150 trastornos que afectan al sistema locomotor, y abarcan desde trastornos repentinos y de corta duración, como fracturas, esguinces y distensiones, a enfermedades crónicas que causan limitaciones de las capacidades funcionales e incapacidad permanentes (10).

Las lesiones musculoesqueléticas representan un fenómeno inevitable a lo largo de cualquier etapa de la vida humana, acentuándose por el estilo de vida. Las lesiones musculoesqueléticas son muy comunes en deportistas durante sus entrenamientos o la práctica deportiva, resultando en pérdida de tiempo y ausencia de la práctica deportiva (11). Las lesiones en atletas de alto rendimiento tienen una prevalencia muy elevada, llegando a afectar a lo largo de un año aproximadamente al 91,6% de atletas, estableciendo una media de 4,1 lesiones por cada mil horas de práctica deportiva (12). Se estima que se producen entre tres y cinco millones de lesiones derivadas de la práctica deportiva anualmente (13). Por otro lado, los factores asociados al estilo de vida, como el desgaste progresivo de las articulaciones y la pérdida de masa muscular, en ocasiones derivados de un estilo de vida sedentario y casos de nutrición inadecuada, son catalizadores de la aparición de esta tipología de problemas (14). En ambos casos, la aparición de esta condición de salud repercute de manera negativa en la autonomía del individuo, limitando su capacidad de trabajar, practicar deporte o incluso de realizar actividades cotidianas, como son caminar o levantarse (15).

La recuperación del daño producido en el músculo esquelético presenta un orden de curación, independientemente del origen de la lesión. La primera fase consta de la ruptura y posterior necrosis de las células musculares. Durante la segunda fase se produce la fagocitosis del tejido necrosado, la regeneración del tejido miofibrilar y la formación del tejido cicatricial conectivo. Finalmente, la tercera y última fase es un periodo de maduración de las miofibrillas regeneradas, contracción y reorganización del tejido cicatricial y la recuperación de la funcionalidad del tejido muscular (16).

Comprender los mecanismos subyacentes en la aparición y evolución de las lesiones, así como su relación con la suplementación nutricional, es fundamental para desarrollar estrategias que favorezcan la regeneración de los tejidos afectados.

La práctica deportiva a la que un deportista no está acostumbrado, extenuante de alta intensidad o de larga duración, son varios desencadenantes que pueden inducir al daño muscular. El DMIE se caracteriza por una respuesta primaria como resultado del estrés mecánico que ocurre durante el ejercicio, además de una respuesta inflamatoria secundaria. El estiramiento excesivo y la disrupción que se produce en los sarcómeros, seguido de un aumento de la entrada de Ca^{2+} en las células musculares, resultan en la tensión pasiva del músculo, causando una disrupción miofibrilar. Estas respuestas desencadenan posteriormente respuestas inflamatorias secundarias, incluida la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO) y citoquinas pro-inflamatorias (17).

El dolor muscular de inicio tardío es una experiencia común en los deportistas, ya sean novatos o experimentados. Los síntomas abarcan desde sensibilidad muscular hasta un dolor severo. Los periodos más comunes donde se dan casos de DMIT son al comienzo de la temporada deportiva, cuando los atletas regresan a entrenar después de un periodo de actividad reducida. También es común cuando los deportistas se introducen por primera vez en ciertas actividades, independientemente de la época del año (18).

Como señala Diego Fernández-Lázaro existe un vínculo entre el estrés oxidativo, la inflamación y el daño muscular, pues el estrés oxidativo puede desencadenar en daño muscular. Las células inflamatorias pueden promover el estrés oxidativo mediante la liberación de enzimas (proteasas neutras, elastasa, colagenasa, hidrolasas ácidas), especies reactivas (superóxido, peróxido de hidrógeno, radical hidroxilo, ácido hipocloroso, óxido nítrico) y mensajeros extracelulares (citoquinas e interleucinas). En conjunto, estos compuestos pueden exacerbar la inflamación y el daño muscular (19). En el momento posterior a que se produzca una lesión muscular, la respuesta inflamatoria inicia la reparación y regeneración de tejido, estimulando la liberación de citoquinas pro-inflamatorias, como son la interleucina-6 (IL-6), la interleucina 1- β (IL-1 β) o el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α). Las citoquinas pro-inflamatorias actúan sobre el hígado, estimulando la producción y liberación de la proteína C reactiva (PCR), indicador de inflamación sistémica aguda (20).

El DMIE se asocia a aumentos en las concentraciones séricas de enzimas musculares séricas, como la creatina quinasa, lactato deshidrogenasa o la mioglobina, así como disminución de fuerza y déficits neuromusculares (21). Una de las conexiones entre los ácidos grasos omega-3 y la inflamación muscular existe en la regulación de citoquinas pro-inflamatorias, como son TNF- α o IL-6, las cuales disminuyen la producción de ácido araquidónico (AA) y de especies reactivas de oxígeno (ERO), reduciendo así la respuesta inflamatoria. Por otra parte, la creatina quinasa (CK) es un indicador del daño muscular, estableciendo así su relación con TNF- α e IL-6 (22)

Se han propuesto dos mecanismos por los cuales los ácidos grasos omega-3 (N-3) podrían afectar al DMIE y en la promoción de la reparación tisular. El primero sostiene que N-3 circulantes en sangre son absorbidos por el músculo e incorporados a la bicapa fosfolipídica, donde debido a sus enlaces doble carbono-carbono en configuración *cis*, aumenta su fluidez de membrana y su resistencia al estrés mecánico, reduciendo el daño debido a la tensión aplicada, preservando la estructura de las fibras musculares y mitigando el DMIE. Por otra parte, N-3 mejora la reparación muscular al ejercer propiedades antiinflamatorias. La incorporación de N-3 en la bicapa fosfolipídica del músculo se produce a expensas de los ácidos grasos omega-6, que constituyen el sustrato principal para las vías de señalización que regulan la producción de eicosanoides, catalizada por las enzimas ciclooxigenasa y lipooxigenasa. La cascada de señalización reduce la formación de mediadores lipídicos proinflamatorios (prostaglandina E2, leucotrieno B4) y aumenta la producción de mediadores lipídicos con bajo potencial proinflamatorio, como la prostaglandina E3, la cual estimula el flujo sanguíneo y facilita la reparación de tejidos dañados (23).

Durante la respuesta inflamatoria común en las lesiones de carácter muscular, la generación excesiva de especies reactivas de oxígeno contribuye al daño muscular, puede prolongar la fase inflamatoria y retrasar la regeneración de tejidos. Un exceso de ERO destruye aún más la estructura de las células musculares, lo que puede inducir a la pérdida de los miocitos y disminución de la fuerza muscular (24). Recientemente se ha demostrado una relación inversamente proporcional entre la cantidad de antioxidantes presentes en la dieta y la sarcopenia, enfatizando los posibles beneficios respecto al consumo de antioxidantes y la pérdida de masa muscular (25). La suplementación con antioxidantes ha emergido como una estrategia ergogénica potencial con fin de reducir el estrés oxidativo y modular la respuesta inflamatoria, acelerando la recuperación de lesiones musculares y mejorar la calidad de la regeneración de tejidos.

La curcumina, cuyo compuesto químico es el 1,7-bis(4-hidroxi-3-metoxifenil)-1,6-heptadien-3,5-diona, es el principal compuesto fenólico de la raíz de cúrcuma, utilizada en la China tradicional como medicina para tratar dolor, inflamación y múltiples enfermedades (26). Los polifenoles de la dieta son conocidos por su poder de modular la inflamación y el dolor muscular, sin efectos secundarios negativos, haciéndolos ideales para su uso en un contexto deportivo (27), aunque su eficacia como suplemento se ha visto limitada por su baja biodisponibilidad, de ahí que encontrar una nueva forma de suplementación podría ser mejorar su biodisponibilidad (28), mejorando con ello la capacidad de recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio (DMIE). Se ha observado que la curcumina presenta efectos protectores de membrana, capacidad antioxidante y acción antiinflamatoria. Las propiedades antiinflamatorias atribuidas a la curcumina se deben a su capacidad de inhibir el factor nuclear kappa (NF- κ B), considerado un agente protector y regenerador muscular que desempeña un papel importante para el control de mecanismos fisiológicos de la inflamación y degradación proteica (29).

La curcumina ejerce efectos inflamatorios al regular las vías de señalización inflamatoria e inhibir la producción de mediadores inflamatorios, representado en la Figura 1.2. La curcumina se une a los receptores tipo Toll (TLRs) y regula los factores de transcripción y vías de señalización, como el NF- κ B, las quinasas activadas por mitógenos (MAPK) y la proteína activadora 1 (AP-1), modulando los mediadores inflamatorios. Por otra parte, puede inhibir la activación de NF- κ B a través del receptor gamma activado por

proliferadores de peroxisomas (PPAR γ). También ejerce efectos antiinflamatorios mediante la regulación de la vía de señalización de la quinasa Janus/transductor de señal y activador de la transcripción (JAK/STAT). Finalmente, la curcumina puede inhibir directamente la formación del inflammasoma NLRP3 o su activación mediante la supresión de la vía de NF- κ B, lo que podría representar uno de sus principales mecanismos del tratamiento de enfermedades inflamatorias (26).

El colágeno es el principal componente extracelular del tejido conectivo, el cual aporta propiedades elásticas a los tejidos. Las cantidades de colágeno abarcan el 25-30% de la proteína total del cuerpo (30). Los tejidos formados por colágeno de la matriz extracelular muscular tienen un papel funcional importante en lo que se refiere al músculo esquelético, por lo que se afirma que la estructura y la función de los tejidos musculoesqueléticos, como los tendones, ligamentos y los huesos, dependen de su matriz extracelular rica en colágeno. El colágeno, además, proporciona estabilidad y protección, además de contribuir a la integridad estructural de los tejidos. Por ello, existe un proceso constante de degradación y síntesis de colágeno para realizar estas funciones, con una tasa de renovación de 0,5-2% por día (31). Este porcentaje de tasa de renovación del colágeno se traduce en una vida media del mismo de entre dos y cinco meses (30).

El dolor muscular posterior a la práctica deportiva es el resultado de una respuesta inflamatoria derivada del daño directo al músculo esquelético y tejido conectivo (32). La suplementación con péptidos de colágeno parece que podría mejorar los marcadores séricos relacionados con la recuperación del daño producido por la actividad física (31).

Método

Este Trabajo de Fin de Grado adopta la metodología de revisión bibliográfica, cuyo fin es evaluar la eficacia de ciertos suplementos nutricionales (N-3, curcumina y colágeno) sobre el daño muscular inducido por la práctica deportiva.

La búsqueda de artículos y publicaciones relacionadas se llevó a cabo entre el lunes 10 de febrero de 2025 y el sábado, 12 de abril de 2025. Principalmente, la búsqueda de información se redujo a dos bases de datos, PubMed y Google Académico. La base de datos principal para la obtención de información fue PubMed, mientras que Google Académico se utilizó para completar la información necesaria procedente de la otra base de datos.

Respecto a PubMed, se utilizaron varias palabras clave, siendo las siguientes:

- *“Omega-3 Supplementation”*
- *“PUFA Supplementation”*
- *“Fish oil Supplementation”*
- *“Collagen Peptide Supplementation”*
- *“Curcumin Supplementation”*
- *“Inflammation”*

- “Exercise-induced muscle damage”
- “Muscle Soreness”
- “Muscle Damage”

Todos estos términos, se utilizaron como términos MeSH, en combinación con operadores booleanos, del estilo: (“Omega-3 Supplementation” OR “PUFA” OR “Fish oil”) AND (“Excercise-induced muscle damage” OR “Muscle soreness”). En este preciso caso se obtuvieron 5099 resultados, una vez aplicados los filtros.

Para una búsqueda más precisa, se aplicaron los siguientes filtros: artículos únicamente escritos en inglés o español, antigüedad inferior a 5 años y realizados únicamente en humanos. En Google Académico se replicó la estrategia, con palabras clave análogas y utilizando únicamente estudios publicados en los últimos cinco años.

Con fin de aportar información de valor a la revisión, se describieron una serie de criterios de inclusión y exclusión. Como criterios de inclusión, se incluyeron aquellos artículos científicos relacionados con el tema publicados en los últimos cinco años, abarcando metaanálisis, revisiones sistemáticas y ensayos clínicos, así como libros y guías clínicas. Por contraparte, se han establecido como criterios de exclusión aquellos todos aquellos susceptibles de sesgar la veracidad de la información, como son estudios en animales, estudios in-vitro o aquellos con una antigüedad superior a cinco años, salvo ciertas excepciones con un peso relevante en el ámbito de la investigación.

Finalmente, se comprobó el factor de impacto de las diversas revistas que publicaron los estudios analizados mediante Scimago Journal & Country Rank, estableciendo como criterio un factor de impacto de la revista SCR > 1,5.

Resultados

En primer lugar, en la Tabla 1. se recopilan los ensayos que evalúan la influencia de la suplementación con ácidos grasos N-3 en el DMIE.

Los estudios analizados muestran resultados heterogéneos. Salvo en el ensayo de Barquilha et al. (20), todos los estudios se llevaron a cabo en poblaciones masculinas jóvenes y relacionados con la práctica deportiva, induciendo a posibles sesgos en la extrapolación de los resultados obtenidos sobre otros grupos poblacionales.

Barquilha et al. (20) y VanDusseldorp et al. (33), mediante la suplementación de aceite de pescado a altas dosis durante periodos de tiempo prolongados, tres gramos al día durante seis semanas (20) y seis gramos al día durante siete semanas y media (33), reportaron reducciones significativas en los niveles de CK y LDH. Por otro lado, Yang et al. (34) describieron efecto antioxidante y disminución de los niveles de CK tras la suplementación de aceite de krill durante diez días y una única sesión de entrenamiento, aunque sin modificaciones en los marcadores inflamatorios.

Por el contrario, los ensayos de Visconti et al. (35) y Kyriakidou et al. (22) administraron hasta 8g/día de N-3 durante aproximadamente un mes (35) y 3g/día

durante cuatro semanas (22). Ninguno de los ensayos obtuvo diferencias significativas frente al grupo placebo ni en los biomarcadores de daño muscular ni en los relativos a la inflamación.

En conjunto, la duración de la suplementación, ya sea prolongada (20,22,33) o breve (34) no aparenta ser determinante en los resultados, sino más bien el origen o la composición del suplemento, la dosis o la susceptibilidad individual del individuo.

La modulación de la inflamación sistémica parece incierta, pues únicamente el ensayo de Barquilha et al. (20) detectó cambios favorables sobre los marcadores de inflamación, pese a utilizar dosis similares o superiores a otros autores.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que la eficacia de los ácidos grasos N-3 no depende únicamente de la duración del periodo de suplementación, sino que es posible que esté condicionada por factores como la calidad y el origen del suplemento, así como la composición de ácidos grasos y su proporción de EPA/DHA, la dosis administrada y la susceptibilidad individual de los individuos suplementados.

Tabla 1. Estudios que relacionan la suplementación con N-3 y el DMIE.

| Autor y año | Tipo de estudio | Muestra | Intervención | Resultados |
|--------------------------------|-----------------------------|--|--|---|
| Barquilha et al. 2023 (20) | Ensayo clínico aleatorizado | 16 hombres jóvenes no entrenados | <ul style="list-style-type: none"> • Suplementación con 3 cápsulas diarias de omega-3 o placebo durante 6 semanas. • Evaluación de los biomarcadores CK, LDH, IL-6, PCR y equilibrio redox tras entrenamiento de fuerza. | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del daño muscular, inflamación y estrés oxidativo inducido por el ejercicio. • Mejora del equilibrio redox tras la suplementación. |
| Kyriakidou et al. 2021 (22) | Ensayo clínico aleatorizado | 14 hombres jóvenes y sanos | <ul style="list-style-type: none"> • Suplementación con 3 g/día de omega-3 o placebo durante 4 semanas. • Evaluación de DMIE tras protocolo de carrera y análisis de CK, IL-6, TNF-α y dolor muscular percibido. | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción significativa del dolor muscular con omega-3. • Niveles más bajos de IL-6 en el grupo suplementado. • En CK y TNF-α no se mostraron diferencias significativas. |
| VanDusseldorp et al. 2020 (33) | Ensayo clínico aleatorizado | 32 hombres jóvenes entrenados en resistencia | <ul style="list-style-type: none"> • Asignación aleatoria a placebo, 2 g/día, 4 g/día o 6 g/día de omega-3 durante 7,5 semanas. • Evaluación del rendimiento, dolor muscular y biomarcadores tras ejercicio excéntrico. | <ul style="list-style-type: none"> • 6 g/día optimizó la recuperación y redujo el dolor muscular. • 2 g/día y 4 g/día no mostraron beneficios significativos respecto al placebo. |

| | | | | |
|----------------------------------|---|---|--|--|
| <p>Yang et al. 2023 (34)</p> | <p>Ensayo clínico aleatorizado</p> | <p>30 hombres jóvenes entrenados en resistencia</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Suplementación con 3 g/día de aceite de krill o placebo, 3 días antes y 3 días después del ejercicio excéntrico. • Evaluación de CK, LDH, SOD, CAT, ERO, MDA, IL-2, IL-6 y TNF-α. | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción significativa de CK a las 24 y 48 horas post ejercicio. • Aumento de SOD y CAT, y disminución de MDA. • Sin diferencias en IL-2, IL-6 y TNF-α respecto al placebo. |
| <p>Visconti et al. 2021 (35)</p> | <p>Ensayo clínico aleatorizado doble ciego y controlado con placebo</p> | <p>26 hombres jóvenes entrenados en resistencia</p> | <ul style="list-style-type: none"> • Suplementación con placebo, 6 g/día u 8 g/día de omega-3 durante 33 días. • Inducción de daño muscular mediante ejercicio excéntrico • Análisis de CK y dolor muscular percibido. | <ul style="list-style-type: none"> • Niveles de CK elevados en todos los grupos post ejercicio. • No hubo diferencias significativas en recuperación muscular. • No se observó relación dosis-respuesta en la recuperación. |

En segundo lugar, la evidencia sobre el uso de curcumina para el tratamiento del DMIE se encuentra recogida en la Tabla 2.

En lo relativo a la modulación de la respuesta inflamatoria derivada del daño muscular, únicamente el estudio de Tanner et al. (27) mostró una reducción estadísticamente significativa sobre los biomarcadores proinflamatorios tras la administración de un suplemento combinado de curcumina y extracto de granada. Al ser una intervención con un suplemento constituido por varias sustancias bioactivas, no se pueden atribuir sus efectos positivos únicamente a la curcumina.

Por su parte, Mallard et al. (28) y Basham et al. (36) diseñaron protocolos independientes con dosis distintas, pero duraciones similares, tres gramos diarios de curcumina durante cuatro semanas (28) o un gramo y medio de curcumina durante cuatro semanas (36), pero ninguno de los estudios registró cambios significativos en los niveles de IL-6, IL-10 ni TNF- α , ni tampoco en los biomarcadores séricos de daño muscular PCR, LDH y CK. Es posible que la efectividad de la suplementación con curcumina dependa del umbral de dosis, la temporalidad de la suplementación o inclusive factores interindividuales, como podrían ser factores genéticos o nutricionales.

En relación con la percepción y el daño muscular, el ensayo clínico de Mallard et al. (28) describió una puntuación media de dolor muscular percibido significativamente superior en el grupo tratado con curcumina frente al placebo. A su vez, Hillman et al. (37) observaron un menor dolor percibido a los dos y tres días posteriores a la suplementación con 500mg de curcumina dos veces al día. En cambio, ni Basham et al. (36) ni Tanabe et al. (38) observaron diferencias relevantes en la percepción del dolor. La contradicción de esta evidencia es posible que esté causada por la variabilidad de los distintos protocolos para inducir el DMIE, abarcando desde ejercicios de resistencia, saltos pliométricos, partidos de fútbol o la participación en una media maratón.

Las diferencias entre las dosis administradas (entre 180mg hasta 3g al día), duración del protocolo de suplementación (desde una única dosis hasta cuatro semanas) o en el protocolo para inducir el EIMD, el espacio muestral reducido (entre 15 y 28 participantes) y la utilización de fuentes combinadas de suplementación, son determinantes que añaden complejidad a la comparación de los estudios.

Tabla 2. Estudios que relacionan la suplementación con curcumina y el DMIE

| Autor y año | Tipo de estudio | Muestra | Intervención | Resultados |
|--------------------------|---|---|--|---|
| Tanner et al. 2021 (27) | Estudio de viabilidad | 18 corredores recreativos que completaron una media maratón | <ul style="list-style-type: none"> • Suplementación con 1 g/día de curcumina combinada con extracto de granada frente a un grupo control. • Administración previa y posterior a la carrera del suplemento. • Medición de proteínas inflamatorias y ARN relacionados con inflamación. | <ul style="list-style-type: none"> • Atenuación de la respuesta inflamatoria sistémica en el grupo suplementado. • Ausencia de efectos adversos. • Propuesta de combinación curcumina con granada como estrategia eficaz para reducir el DMIE. |
| Mallard et al. 2021 (28) | Ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado mediante placebo | 28 adultos jóvenes físicamente activos | <ul style="list-style-type: none"> • Bebida deportiva con curcumina frente a un placebo durante el ejercicio de resistencia hasta extenuación. • Evaluaciones antes y hasta 3 días posteriores al ejercicio del dolor muscular percibido, lactato, LDH, PCR, IL-6, IL-10, mioglobina y TNF-α | <ul style="list-style-type: none"> • Menor aparición de lactato en el grupo de curcumina. • Escala de dolor muscular percibido inferior en el grupo de intervención. • Biomarcadores inflamatorios sin diferencias significativas. • Sin evidencia de mejora en la recuperación del DMIE. |
| Basham et al, 2020 (36) | Ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado | 19 hombres jóvenes físicamente activos | <ul style="list-style-type: none"> • 1,5 g/día de curcumina durante 28 días. Inducción de daño mediante | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción del daño muscular percibido inducido por el |

| | | | | |
|--------------------------|--|--|---|--|
| | mediante placebo | | <p>ejercicios excéntricos.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Evaluación de la capacidad antioxidante total, MDA, TNF-α, CK y dolor muscular percibido | <p>ejercicio.</p> <ul style="list-style-type: none"> • No se moduló la respuesta inflamatoria. |
| Tanabe et al. 2024 (38) | Ensayo clínico aleatorizado cruzado, doble ciego, controlado por placebo | 15 jugadores de fútbol jóvenes a nivel universitario | <ul style="list-style-type: none"> • 180 mg/día de curcumina vs. placebo desde 1 h antes hasta 2 días después del partido. • Medición del dolor muscular, capacidad de salto y biomarcadores de daño e inflamación | <ul style="list-style-type: none"> • No se observaron diferencias significativas en dolor muscular, rendimiento ni biomarcadores entre grupos. • No se observó efecto positivo de la curcumina sobre el DMIE. |
| Hillman et al. 2022 (37) | Ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado por placebo | 22 adultos, 5 mujeres y 17 hombres | <ul style="list-style-type: none"> • 500 mg de curcumina (o placebo) dos veces al día durante 10 días. • Protocolo de salto para generar DMIE. • Evaluación de CK, velocidad de sedimentación eritrocitaria y dolor muscular percibido (antes y después) | <ul style="list-style-type: none"> • Aumento de CK y dolor en ambos grupos tras el ejercicio. • Menor dolor percibido en grupo suplementado con curcumina. • CK superior en placebo, pero no significativo • Ni reducción de inflamación ni en indicadores de dolor. |

Finalmente, la Tabla 3. recoge los datos sobre los estudios que evalúan la relación entre la suplementación con colágeno y el DMIE.

Los estudios revisados que sugieren un efecto positivo utilizaron una suplementación en torno a 10 y 15 gramos de colágeno durante al menos cuatro semanas podría atenuar el DMIE y acelerar la recuperación funcional posterior a la práctica deportiva. El ensayo clínico de Kuwaba et al. (32), mostró reducciones significativas en la percepción del dolor y la fatiga inmediatamente después del protocolo de ejercicio, sin un efecto positivo en los niveles de CK y LDH. De manera similar, estudios como los de Bischof et al. (39) y López et al. (40) mostraron una disminución en los biomarcadores relacionados con el daño muscular (CK, LDH, PCR y mioglobina) tras una intervención prolongada de suplementación, lo que sugiere que protocolos más extensos, de entre seis (40) y doce semanas de suplementación (39) podrían resultar eficaces para mitigar el daño muscular y la inflamación posterior a la práctica deportiva.

Por otra parte, protocolos de duración más breves, como el estudio de intervención realizado por Prowting et al. (41), donde se administraron 15 gramos diarios de colágeno a lo largo de una semana. Los participantes del estudio no mostraron mejorías respecto a la percepción del dolor, pero la suplementación con colágeno presuntamente sí ejerció un efecto positivo sobre el rendimiento deportivo, lo cual indicaría que los beneficios sobre el dolor y la recuperación muscular podrían requerir una duración más larga del protocolo de suplementación.

Asimismo, el ensayo realizado por Robberchts et al. (42) analizó la sustitución parcial de la proteína de suero por colágeno, donde en el primer grupo se suplementaron exclusivamente 45 gramos de proteína de suero, frente al segundo, donde se suplementaron conjuntamente 20 gramos de colágeno con 25 gramos de proteína de suero. Ninguno de los grupos mostró diferencias significativas positivas, por lo que el uso de colágeno podría no ser necesario siempre y cuando ya se cumpla con los requerimientos proteicos de los individuos.

En cuanto a la recuperación funcional, la mayoría de los ensayos concluyen que los participantes que reciben suplementación con péptidos de colágeno mantienen un rendimiento más elevado, frente a los grupos de control, lo que podría reducir el tiempo de reposo entre sesiones y reducir el riesgo de lesiones por fatiga acumulada.

La heterogeneidad de los estudios evidencia sus limitaciones, pues las diferentes dosis utilizadas (entre 3 y 20 gramos diarios), la duración del protocolo de suplementación (desde una sola toma aguda hasta la suplementación a lo largo de doce semanas), la diferencia en el protocolo de ejercicio realizado para inducir el daño muscular y el reducido tamaño muestral representan limitaciones metodológicas para tener en cuenta.

Tabla 3. Estudios que relacionan la suplementación con colágeno y el DMIE

| Autor y año | Tipo de estudio | Muestra | Intervención | Resultados |
|---------------------------|---|---|---|--|
| Kuwaba et al. 2023 (32) | Ensayo clínico aleatorizado cruzado, doble ciego, controlado mediante placebo | Hombres de mediana edad sin experiencia en el deporte ($n = 20$, $52,6 \pm 5,8$ años) | <ul style="list-style-type: none"> • 10 g/día de péptidos de colágeno o placebo durante 33 días. • Protocolo único de ejercicio en el día 29. • Contracción isométrica, rango de movimiento, CK y LDH. | <ul style="list-style-type: none"> • Disminución de la percepción del dolor muscular y fatiga posterior al ejercicio. • Mejora de la fuerza a las 48 horas. • CK y LDH sin cambios significativos entre grupos. |
| Bischof et al. 2024 (39) | Ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado mediante placebo | 55 hombres sedentarios o moderadamente activos | <ul style="list-style-type: none"> • 15 g/día de péptidos de colágeno o placebo durante 12 semanas. • Tres sesiones semanales de entrenamiento. • Análisis de CK, LDH, mioglobina y PCR antes y hasta los 2 días posteriores al ejercicio. | <ul style="list-style-type: none"> • Reducción significativa de CK, LDH y mioglobina en el grupo suplementado con colágeno. • Mejora de la capacidad regenerativa muscular posterior al ejercicio. |
| Prowting et al. 2021 (41) | Ensayo clínico aleatorizado | Hombres familiarizados con entrenamientos de resistencia ($n = 15$) | <ul style="list-style-type: none"> • 15 g/día de péptidos de colágeno o placebo durante 7 días. • Protocolo de salto excéntrico. • Medición a las 24, 48 y 120 h de | <ul style="list-style-type: none"> • Mantenimiento del rendimiento a 24 h. • No hubo cambios en la percepción de dolor. |

| | | | | |
|------------------------------|---|---|--|--|
| | | | fuerza isométrica, altura de salto, dolor percibido y reciclaje de colágeno. | <ul style="list-style-type: none"> No hubo cambios en la tasa de reciclaje del colágeno a las 24 y 48 h. |
| Lopez et al. 2015 (40) | Ensayo clínico aleatorizado, doble ciego, controlado mediante placebo | 8 hombres sanos y físicamente activos con una edad media de 29,3 años | <ul style="list-style-type: none"> 3 g/día de colágeno (BioCell) o placebo durante 6 semanas. Dos ejercicios de resistencia en los días 43 y 46. Evaluación de CK, LDH, PCR, dolor muscular percibido y capacidad de recuperación funcional. | <ul style="list-style-type: none"> Reducción significativa de CK, LDH y PCR en el grupo suplementado con colágeno. Menor pérdida de rendimiento en el grupo suplementado. Mejor adaptación al entrenamiento en el grupo suplementado. |
| Robberechts et al. 2024 (42) | Ensayo clínico aleatorizado | 22 hombres jóvenes y saludables con relación en el deporte (24.4 ± 2.4 años) | <ul style="list-style-type: none"> 20 g/día de péptidos de colágeno + 25 g/día de proteína de suero frente a 45 g/día de proteína de suero. Protocolo de ejercicio excéntrico de 3 semanas. Medición de fuerza isométrica, CK y recuperación funcional. | <ul style="list-style-type: none"> Disminución del 10 % de la fuerza isométrica en ambos grupos. Aumento en ambos grupos de los niveles de CK. La sustitución parcial de suero por colágeno no mejora el daño ni el rendimiento. |

Discusión y conclusiones

Tras la evaluación realizada en este trabajo, se considera relevante remarcar que el campo de la suplementación deportiva es muy controversial y se encuentra muy sesgado por posibles conflictos de interés, complicando la obtención de información de calidad y establecer conclusiones como ciertas.

En primer lugar, los ensayos que emplearon 3-6g/día de N-3 durante al menos seis semanas demostraron un efecto positivo en la recuperación del DMIE. Por contraparte, intervenciones menor duración y <3g/día no obtuvieron beneficios claros. Son necesarios más estudios para establecer recomendaciones precisas, pero la evidencia recopilada apunta hacia la existencia de una cantidad y temporalidad mínima para poder observar efectos positivos sobre el DMIE.

Respecto a la curcumina, en protocolos de entre 180mg y 3g de curcumina diaria hasta cuatro semanas no evidenciaron beneficio alguno sobre el DMIE. El único estudio que mostró un efecto positivo está potencialmente sesgado por conflictos de interés, además de su combinación con otro principio activo. Sería interesante evaluar en un futuro si existen otras dosis y protocolos que sí presenten efectos positivos.

Finalmente, la administración diaria de 10-15g de colágeno durante al menos cuatro semanas mejoró la percepción del dolor y afectó positivamente a los biomarcadores de dolor muscular, sugiriendo un efecto positivo sobre la recuperación del DMIE, mientras que protocolos más breves no influyeron en el dolor, al igual que la sustitución parcial de los niveles de proteína total por péptidos de colágeno.

La evidencia evaluada en este TFG es mixta, por lo tanto, para valorar los resultados y establecer recomendaciones con precisión, se necesita desarrollar ensayos clínicos aleatorizados, doble ciego y controlados con placebo, con un espacio muestral mayor y más diverso, variando los protocolos de ejercicio y controlando los patrones de ingesta de los participantes.

Referencias

1. Owens DJ, Twist C, Cobley JN, Howatson G, Close GL. Exercise-induced muscle damage: What is it, what causes it and what are the nutritional solutions? *Eur J Sport Sci.* 2019;19(1):71-85. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30110239/>
2. Markus I, Constantini K, Hoffman JR, Bartolomei S, Gepner Y. Exercise-induced muscle damage: mechanism, assessment and nutritional factors to accelerate recovery. *Eur J Appl Physiol.* abril de 2021;121(4):969-92. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33420603/>
3. Clarkson PM, Hubal MJ. Exercise-Induced Muscle Damage in Humans. *Am J Phys Med Rehabil.* noviembre de 2002;81(11):S52. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12409811/>
4. Papadopoulou SK, Papadimitriou K, Voulgaridou G, Georgaki E, Tsofidou E, Zantidou O, et al. Exercise and Nutrition Impact on Osteoporosis and Sarcopenia—The Incidence of Osteosarcopenia: A Narrative Review. *Nutrients.* diciembre de 2021;13(12):4499. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34960050/>

5. Jannas-Vela S, Espinosa A, Candia AA, Flores-Opazo M, Peñailillo L, Valenzuela R. The Role of Omega-3 Polyunsaturated Fatty Acids and Their Lipid Mediators on Skeletal Muscle Regeneration: A Narrative Review. *Nutrients*. 8 de febrero de 2023;15(4):871. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36839229/>
6. Powers SK, Deminice R, Ozdemir M, Yoshihara T, Bomkamp MP, Hyatt H. Exercise-induced oxidative stress: Friend or foe? *J Sport Health Sci*. septiembre de 2020;9(5):415-25. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32380253/>
7. Stožer A, Vodopivec P, Križančić Bombek L. Pathophysiology of exercise-induced muscle damage and its structural, functional, metabolic, and clinical consequences. *Physiol Res*. 31 de agosto de 2020;69(4):565-98. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32672048/>
8. Methenitis S, Stergiou I, Antonopoulou S, Nomikos T. Can Exercise-Induced Muscle Damage Be a Good Model for the Investigation of the Anti-Inflammatory Properties of Diet in Humans? *Biomedicines*. 5 de enero de 2021;9(1):36. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33466327/>
9. Abreu R, Oliveira CB, Costa JA, Brito J, Teixeira VH. Effects of dietary supplements on athletic performance in elite soccer players: a systematic review. *J Int Soc Sports Nutr*. 20(1):2236060. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37462346/>
10. Trastornos musculoesqueléticos [Internet]. [citado 12 de abril de 2025]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/musculoskeletal-conditions>
11. Rocha-Rodrigues S, Leão C, Marinho M, Afonso J. Nutritional approaches applied to recovery of skeletal muscle injury immobilization: a review of nutrition aid for sport trauma. *J Sports Med Phys Fitness*. diciembre de 2024;64(12):1303-12. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39287583/>
12. Papadopoulou SK. Rehabilitation Nutrition for Injury Recovery of Athletes: The Role of Macronutrient Intake. *Nutrients*. 14 de agosto de 2020;12(8):2449. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32824034/>
13. Giraldo-Vallejo JE, Cardona-Guzmán MÁ, Rodríguez-Alcivar EJ, Kočí J, Petro JL, Kreider RB, et al. Nutritional Strategies in the Rehabilitation of Musculoskeletal Injuries in Athletes: A Systematic Integrative Review. *Nutrients*. 5 de febrero de 2023;15(4):819. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36839176/>
14. Marshall RN, Smeuninx B, Morgan PT, Breen L. Nutritional Strategies to Offset Disuse-Induced Skeletal Muscle Atrophy and Anabolic Resistance in Older Adults: From Whole-Foods to Isolated Ingredients. *Nutrients*. 25 de mayo de 2020;12(5):1533. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32466126/>
15. Agostini D, Gervasi M, Ferrini F, Bartolacci A, Stranieri A, Piccoli G, et al. An Integrated Approach to Skeletal Muscle Health in Aging. *Nutrients*. 7 de abril de 2023;15(8):1802. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37111021/>
16. SantAnna JPC, Pedrinelli A, Hernandez AJ, Fernandes TL. Muscle Injury: Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment. *Rev Bras Ortop*. 20 de enero de 2022;57(1):1-13. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8856841/>
17. Tanabe Y, Fujii N, Suzuki K. Dietary Supplementation for Attenuating Exercise-Induced Muscle Damage and Delayed-Onset Muscle Soreness in Humans. *Nutrients*. 24 de diciembre de 2021;14(1):70. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35010943/>

18. Cheung K, Hume P, Maxwell L. Delayed onset muscle soreness: treatment strategies and performance factors. *Sports Med Auckl NZ.* 2003;33(2):145-64. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12617692/>
19. Fernández-Lázaro D, Arribalzaga S, Gutiérrez-Abejón E, Azarbayjani MA, Mielgo-Ayuso J, Roche E. Omega-3 Fatty Acid Supplementation on Post-Exercise Inflammation, Muscle Damage, Oxidative Response, and Sports Performance in Physically Healthy Adults-A Systematic Review of Randomized Controlled Trials. *Nutrients.* 27 de junio de 2024;16(13):2044. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38999792/>
20. Barquilha G, Dos Santos CMM, Caçula KG, Santos VC, Polotow TG, Vasconcellos CV, et al. Fish Oil Supplementation Improves the Repeated-Bout Effect and Redox Balance in 20-30-Year-Old Men Submitted to Strength Training. *Nutrients.* 31 de marzo de 2023;15(7):1708. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37049548/>
21. Xin G, Eshaghi H. Effect of omega-3 fatty acids supplementation on indirect blood markers of exercise-induced muscle damage: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Food Sci Nutr.* 21 de septiembre de 2021;9(11):6429-42. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34760272/>
22. Kyriakidou Y, Wood C, Ferrier C, Dolci A, Elliott B. The effect of Omega-3 polyunsaturated fatty acid supplementation on exercise-induced muscle damage. *J Int Soc Sports Nutr.* 13 de enero de 2021;18(1):9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33441158/>
23. Mackay J, Bowles E, Macgregor LJ, Prokopidis K, Campbell C, Barber E, et al. Fish oil supplementation fails to modulate indices of muscle damage and muscle repair during acute recovery from eccentric exercise in trained young males. *Eur J Sport Sci.* agosto de 2023;23(8):1666-76. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37010103/>
24. Wang K, Zhou Q, Jiang Z, Liu S, Tang H. The inverse associations between composite-dietary-antioxidant-index and sarcopenia risk in US adults. *Front Endocrinol [Internet].* 17 de septiembre de 2024 [citado 22 de marzo de 2025];15. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11442324/>
25. Yao Y, Yao J, Tang D, Wang H, Zhang H, Qiu J, et al. Dietary antioxidant capacity and sarcopenia: A study from US population. *Nutr Burbank Los Angel Cty Calif.* febrero de 2025;130:112613. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39561653/>
26. Peng Y, Ao M, Dong B, Jiang Y, Yu L, Chen Z, et al. <p>Anti-Inflammatory Effects of Curcumin in the Inflammatory Diseases: Status, Limitations and Countermeasures</p>. *Drug Des Devel Ther.* 2 de noviembre de 2021;15:4503-25. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34754179/>
27. Tanner EA, Gary ,Melody A., Davis ,Asheal A., Michalik ,Stephan, and McFarlin BK. Alterations in Systemic Inflammatory Response Following a Half-Marathon Race with a Combined Curcumin and Pomegranate Supplement: A Feasibility Study. *J Diet Suppl.* 23 de agosto de 2021;18(5):461-77. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32657201/>
28. Mallard AR, Briskey ,David, Richards, BExSSc ,Andrew, and Rao A. Curcumin Improves Delayed Onset Muscle Soreness and Postexercise Lactate Accumulation. *J Diet Suppl.* 23 de agosto de 2021;18(5):531-42. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32705925/>
29. Fernández-Lázaro D, Mielgo-Ayuso J, Seco Calvo J, Córdova Martínez A, Caballero García A, Fernandez-Lazaro CI. Modulation of Exercise-Induced Muscle Damage, Inflammation, and Oxidative Markers by Curcumin Supplementation in a Physically Active Population: A

Systematic Review. Nutrients. febrero de 2020;12(2):501.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32075287/>

30. Holwerda AM, van Loon LJC. The impact of collagen protein ingestion on musculoskeletal connective tissue remodeling: a narrative review. *Nutr Rev.* 9 de mayo de 2022;80(6):1497-514. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34605901/>
31. Bischof K, Stafilidis S, Bundschuh L, Oesser S, Baca A, König D. Influence of specific collagen peptides and 12-week concurrent training on recovery-related biomechanical characteristics following exercise-induced muscle damage-A randomized controlled trial. *Front Nutr.* 2023;10:1266056. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38035363/>
32. Kuwaba K, Kusubata Masashi, Taga Yuki, Igarashi Hiroshi, Nakazato Koichi, and Mizuno K. Dietary collagen peptides alleviate exercise-induced muscle soreness in healthy middle-aged males: a randomized double-blinded crossover clinical trial. *J Int Soc Sports Nutr.* 31 de diciembre de 2023;20(1):2206392. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37133292/>
33. VanDusseldorp TA, Escobar KA, Johnson KE, Stratton MT, Moriarty T, Kerksick CM, et al. Impact of Varying Dosages of Fish Oil on Recovery and Soreness Following Eccentric Exercise. *Nutrients.* 27 de julio de 2020;12(8):2246. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32727162/>
34. Yang S, He Q, Shi L, Wu Y. Impact of Antarctic krill oil supplementation on skeletal muscle injury recovery after resistance exercise. *Eur J Nutr.* abril de 2023;62(3):1345-56. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36566465/>
35. Visconti LM, Cotter JA, Schick EE, Daniels N, Viray FE, Purcell CA, et al. Impact of varying doses of omega-3 supplementation on muscle damage and recovery after eccentric resistance exercise. *Metab Open.* diciembre de 2021;12:100133. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34693240/>
36. Steven A. Basham M, Hunter S. Waldman P, Ben M. Krings P, John Lamberth P, JohnEric W. Smith P, Matthew J. McAllister P. Effect of Curcumin Supplementation on Exercise-Induced Oxidative Stress, Inflammation, Muscle Damage, and Muscle Soreness. *J Diet Suppl [Internet].* 3 de julio de 2020 [citado 23 de marzo de 2025]; <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31025894/>
37. Hillman AR, Gerchman Alexa, and O'Hora E. Ten Days of Curcumin Supplementation Attenuates Subjective Soreness and Maintains Muscular Power Following Plyometric Exercise. *J Diet Suppl.* 22 de abril de 2022;19(3):303-17. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33480271/>
38. Tanabe Y, Kondo E, Sagayama H, Shimizu K, Yasumatsu M, Nakamura D, et al. Impact of curcumin supplementation on exercise performance and muscle damage after a soccer match: a double-blind placebo-controlled cross-over study. *Eur J Appl Physiol.* julio de 2024;124(7):2161-70. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38436665/>
39. Bischof K, Stafilidis S, Bundschuh L, Oesser S, Baca A, König D. Reduction in systemic muscle stress markers after exercise-induced muscle damage following concurrent training and supplementation with specific collagen peptides - a randomized controlled trial. *Front Nutr.* 2024;11:1384112. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38590831/>
40. Lopez HL, Ziegenfuss TN, Park J. Evaluation of the Effects of BioCell Collagen, a Novel Cartilage Extract, on Connective Tissue Support and Functional Recovery From Exercise. *Integr Med Encinitas Calif.* junio de 2015;14(3):30-8. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26770145/>

41. Prowting JL, Bembem D, Black CD, Day EA, Campbell JA. Effects of Collagen Peptides on Recovery Following Eccentric Exercise in Resistance-Trained Males-A Pilot Study. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 1 de enero de 2021;31(1):32-9. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33186897/>
42. Robberechts R, Poffé C, Ampe N, Bogaerts S, Hespel P. Partly Substituting Whey for Collagen Peptide Supplementation Improves Neither Indices of Muscle Damage Nor Recovery of Functional Capacity During Eccentric Exercise Training in Fit Males. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 1 de marzo de 2024;34(2):69-78. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/37922892/>