
Intervención nutricional en lesiones óseas en corredores

Modalidad **REVISIÓN**

*Propuesta de Trabajo Final de Máster
Máster de Alimentación en la Actividad Física y
el Deporte*

Autor/a: Naroa Furundarena Urkola
Tutor/a del TFM: Fernando Mata Ordóñez

Curso académico 2023/2024
Segundo semestre



Esta obra está bajo una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.es>)

Índice

Abreviaturas	3
Resumen	4
Abstract	5
1. Introducción	6
2. Objetivos	10
2.1. Objetivo general	10
2.2. Objetivos específicos	10
2.3. Preguntas investigables	10
3. Metodología	11
4. Resultados	14
4.1. Factores de riesgo	14
4.2. Prevención	20
4.3. Uso de suplementos	23
5. Discusión	26
6. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación	29
6.1. Diseño y tipo de estudio o intervención	29
6.2. Población diana	29
6.3. Sistema de recogida de datos	29
6.4. Variables de estudio	30
6.5. Estrategia de análisis de datos	30
6.6. Consideraciones éticas	30
7. Conclusiones	31
8. Bibliografía	32

Abreviaturas

AOR: razón de probabilidades ajustada

BSI: lesiones por estrés óseo

CMO: contenido mineral óseo

COI: comité olímpico internacional

CTX: telopéptido carboxiterminal del colágeno tipo I

DMO: densidad mineral ósea

EA: disponibilidad energética

HC: hidratos de carbono

HR: cociente de riesgos

IC: intervalo de confianza

IMC: índice de masa corporal

Kcal: kilocalorías

LEA: baja disponibilidad energética

MLG: masa libre de grasa

OR: razón de probabilidades

ODS: objetivos de desarrollo sostenible

PTH: hormona paratiroidea

RED-s: deficiencia energética relativa en el deporte

RR: riesgo relativo

SF: fractura por estrés

Resumen

Introducción: Las lesiones óseas son muy frecuentes en los corredores, afectando a su rendimiento deportivo, bienestar psicológico y su vida cotidiana. La etiología de estas lesiones suele ser multifactorial pero la intervención nutricional juega un papel muy importante tanto en la prevención como en la recuperación.

Objetivo: Evaluar el impacto de la intervención nutricional en la prevención y rehabilitación de lesiones óseas en corredores.

Método: Se realizó una búsqueda en tres bases de datos: Pubmed, Web of Science y Scopus. Para la búsqueda se combinaron las siguientes palabras clave entre sí, “bone injury”, “bone stress injury”, “stress fracture”, “nutrition”, “diet”, “macronutrients” y “micronutrients”.

Resultados: De los 21 artículos inicialmente seleccionados para revisión completa, se incluyeron 13 en el análisis final. De estos, 9 estudios se centraron en los factores de riesgo, 2 trataron sobre la prevención, y 3 (incluyendo uno de los estudios sobre factores de riesgo) examinaron el uso de suplementos en corredores.

Conclusión: Una alimentación adecuada que asegure una ingesta suficiente de calcio, vitamina D y proteínas, junto con un consumo calórico correcto y el uso apropiado de suplementos dietéticos, es esencial para prevenir y rehabilitar las lesiones óseas en corredores.

Palabras clave

Lesión ósea, fractura por estrés, corredor, calcio, vitamina D.

Abstract

Introduction: Bone injuries are very common among runners, affecting their athletic performance, psychological well-being, and daily life. The etiology of these injuries is often multifactorial, but nutritional intervention plays a significant role in both prevention and recovery.

Objective: To evaluate the impact of nutritional intervention on the prevention and rehabilitation of bone injuries in runners.

Method: A search was conducted in three databases: Pubmed, Web of Science and Scopus. The search combined the following keywords: bone injury, "bone stress injury," "stress fracture," "nutrition," "diet," "macronutrients," and "micronutrients."

Results: Of the 21 articles initially selected for full-text review, 13 were included in the final analysis. Of these, 9 studies focused on risk factors, 2 on prevention, and 3 (including one of the studies on risk factors) examined the use of supplements in runners.

Conclusion: Proper nutrition that ensures sufficient intake of calcium, vitamin D, and proteins, along with adequate caloric intake and appropriate use of dietary supplements, is essential for preventing and rehabilitating bone injuries in runners.

Key words

Bone injury, stress fracture, runner, calcium, vitamin D.

1. Introducción

Las lesiones tienen un gran impacto en la vida del atleta, repercutiendo tanto en su rendimiento deportivo como en su bienestar psicológico y su vida cotidiana. Entre los corredores, las lesiones óseas son de las más frecuentes, afectando aproximadamente al 40 % de los atletas¹⁻³, y concretamente las fracturas por estrés (SF, Stress Fracture) representan el 15-20 % de todas las lesiones musculoesqueléticas en corredores⁴.

La lesión por estrés óseo (BSI, Bone Strees Injuries) suele generarse por una acumulación de microdaños y es común que este tipo de lesión progrese a una SF incluso pueda resultar en una fractura ósea completa¹. En corredores, las BSI y SF ocurren principalmente en las extremidades inferiores, siendo los más afectados la columna lumbar, pelvis, fémur, tibia, tobillo y pie^{1,5,6}.

El inicio de los síntomas clínicos suele ser insidioso, con un dolor sordo preexistente, sensibilidad focal e hinchazón localizada en el punto de daño después de una sesión de entrenamiento. El diagnóstico diferencial incluye periostitis tibial, síndrome compartimental por esfuerzo, tendinopatía, síndromes de atrapamiento de nervios o arterias, lesiones de nervios periféricos, neuropatías y metatarsalgia. Generalmente, el diagnóstico se realiza mediante radiografía, pero en ocasiones las SF no son visibles en las radiografías hasta semanas después del inicio del dolor, por lo que a veces se requiere una resonancia magnética o un centellograma⁵.

El centellograma es una técnica de diagnóstico por imagen en la que se inyecta en vena una cantidad muy pequeña de material radiactivo que fluye por la sangre. Esto ayuda a detectar anomalías en los huesos, mostrando áreas de mayor actividad metabólica que pueden indicar la presencia de una SF antes de que sea visible en una radiografía.

El tratamiento inicial de las SF incluye reposo, hielo, compresión, elevación y cese de la carrera, permitiendo que el deportista vuelva a entrenar en cuatro a seis semanas. Sin embargo, en casos más complicados, la cirugía puede ser necesaria⁵.

La etiología de las lesiones óseas es multifactorial, con numerosos factores de riesgo involucrados, tanto intrínsecos como extrínsecos. Entre los factores intrínsecos se encuentra el haber sufrido otra lesión ósea; específicamente, se ha observado que haber experimentado una SF anteriormente aumenta cinco veces la probabilidad de sufrir otra lesión similar. Además, pertenecer al género femenino aumenta 2.3 veces la probabilidad de sufrir una SF⁷. Las SF también están asociadas con cambios estructurales y factores biomecánicos, como la geometría ósea y mecánica de carrera, que predisponen a un individuo a una fractura^{4,6}. El índice de masa corporal (IMC) tiene

una relación indirecta con las SF; los individuos con un IMC por debajo de 19 kg/m² o por encima de 25 kg/m², especialmente aquellos con un desarrollo muscular deficiente y una mayor masa grasa, muestran un mayor riesgo de sufrir una SF^{4,5}. La menarquía tardía (inicio >15 años)⁵ y una baja densidad mineral ósea (DMO) también se han establecido como factores de riesgo⁴.

Entre los factores extrínsecos que afectan al riesgo de lesión ósea, están, por un lado, el tipo y la frecuencia de actividad. Por ejemplo, los esfuerzos submáximos repetidos, como correr, cargas de alto impacto y una carga de entrenamiento elevada, favorecen la aparición de las lesiones óseas^{4,5}. El uso de calzado y equipamiento inadecuado, así como el terreno de entrenamiento, también influyen en el riesgo de lesión⁴. Una de las principales razones por las cuales las mujeres tienen una mayor probabilidad de sufrir una lesión ósea, y uno de los factores extrínsecos más importantes que provoca un bajo consumo de energía y nutrientes, está vinculada con la triada de la mujer⁵.

En 1992 se definió la triada de la mujer como la combinación de tres afecciones médicas: trastornos de la conducta alimentaria (que resultan en una baja disponibilidad energética, conocida como LEA, Low Energy Availability), osteoporosis y amenorrea⁸. Sin embargo, en 2014 el Comité Olímpico Internacional (COI) decidió incluir esta condición médica dentro de la deficiencia energética relativa en el deporte (RED-s, Relative Energy Deficiency in sport), ya que se evidenció que la LEA es el factor causal de los otros dos componentes de la triada, puede aparecer tanto en hombre como en mujeres y genera más alteraciones de las descritas en la triada de la mujer.

¿Pero cómo se puede detectar si un corredor está experimentando LEA? ¿Qué significa exactamente la disponibilidad energética (EA, Energy Availability)? Para responder a estas preguntas, es fundamental comprender que el gasto calórico total de un deportista se compone de varios elementos: el gasto metabólico en reposo, el efecto térmico de los alimentos, el gasto energético asociado a la actividad física diaria y el gasto asociado al ejercicio. La EA se refiere a la cantidad de energía disponible después de restar el gasto energético durante la práctica deportiva al total de la energía ingerida mediante la dieta. Para estandarizar este valor, se ajusta en relación con la masa muscular, expresándolo en kilocalorías (kcal) por kilogramos masa libre de grasa (MLG) al día (kcal/MLG/día)⁹.

Figura 1. Fórmula para calcular la disponibilidad energética (EA).

$$EA \text{ (kcal/ MLG/día)} = \frac{\text{Ingesta energética (kcal)} - \text{Gasto energético del ejercicio (kcal)}}{\text{MLG (kg)/ día}}$$

*EA: disponibilidad energética; MLG: masa libre de grasa

*Adaptado de Mountjoy et al.*⁹

Dependiendo del objetivo de cada deportista, el valor de la EA deberá variar. Si el deportista busca aumentar masa corporal, su EA deberá ser igual o mayor a 45 kcal/kg de MLG/día. Para mantener el peso y tener una EA óptima, se deberá estar alrededor de 45 kcal/kg de MLG/día. En cambio, si el objetivo es la pérdida de grasa corporal, la EA se debería situarse entre 30 y 45 kcal/kg de MLG/día, pero nunca debería ser inferior a 30 kcal/kg de MLG/día, ya que se considera LEA y puede acarrear graves problemas de salud. Aunque se han establecido estos valores como referencia, la investigación más reciente ha destacado la complejidad de fijar un umbral único, mostrando diferencias significativas entre individuos, géneros y sistemas corporales⁹. Además, el fenotipo de muchos atletas depende de periodos de LEA, lo que hace improbable el estar siempre en valores superiores a 45 kcal/kg de MLG/día.

El síndrome RED-s genera más problemas y alteraciones que los contemplados en la tríada de la mujer atleta, como alteraciones en la función gastrointestinal y cardiovascular, metabolismo alterado de glucosa y lípidos, y problemas de salud mental entre otros. Unas de las mayores consecuencias de RED-s son los cambios que se producen en la salud ósea, afectando y provocando cambios en los biomarcadores de remodelación ósea, como la osteocalcina, telopéptido carboxiterminal del colágeno tipo I (CTX) o la hormona paratiroidea (PTH)⁹, reduciendo los niveles de hormonas osteogénicas, y disminuyendo la capacidad del hueso para reparar el microdaño que puede generarse durante la carrera a pie. Asimismo, LEA puede afectar a la actividad de los osteoblastos y osteoclastos a lo largo del ciclo de remodelación ósea, disminuyendo la masa ósea.

Los impactos hormonales generados por la LEA afectan de manera diferente a los huesos dependiendo de su composición. Es fundamental comprender que el hueso está compuesto por dos tipos principales: el hueso cortical y el hueso trabecular, y que la proporción de cada tipo varía según la ubicación en el cuerpo. El hueso trabecular es metabólicamente más activo que el hueso cortical. Esto significa que tiene un mayor flujo sanguíneo y una tasa de recambio óseo más alta. Como resultado, es más sensible a los cambios hormonales inducidos por la LEA.

Además, la baja ingesta calórica puede conducir a una deficiencia en la ingesta de nutrientes esenciales para una adecuada formación ósea, como el calcio, hierro, vitaminas del complejo B y la vitamina D¹⁰. Estos nutrientes desempeñan un papel crucial en la mineralización y fortaleza del hueso. Por lo tanto, la LEA no solo afecta los niveles que regulan el metabolismo óseo, sino que también puede provocar una deficiencia de nutrientes necesarios para mantener la salud ósea.

Los requerimientos nutricionales del corredor variarán según las características individuales, así como la duración e intensidad del ejercicio. Se estima que el gasto energético de un corredor aficionado, que entrena 30-40 minutos por día, 3 veces por semana, es de 25-35 kcal por kg de peso corporal al día. Sin embargo, los atletas que entrenan de 2 a 3 horas al día, de 5 a 6 veces por semana, pueden tener un gasto energético que oscila entre 50-80 kcal por kg de peso corporal al día¹¹.

Las recomendaciones de hidratos de carbono (HC) para corredores varían entre 5-10 g HC/kg de peso corporal/día, dependiendo de la intensidad y duración del ejercicio¹². En días de entrenamiento moderado (con una duración inferior a 90 minutos), se recomienda consumir 5-7 g HC por kg de peso corporal, mientras que en días de entrenamiento intenso (con una duración de 90-120 minutos), se aconseja consumir 7-10 g HC/kg de peso corporal/día¹². La recomendación de proteínas para deportes de resistencia se sitúa en 1.2-1.4 g por kg de peso corporal al día¹¹, y se sugiere realizar tomas con un mínimo de 20 gramos de proteína cada 3-4 horas para maximizar la síntesis de proteína muscular¹³. Por último, las grasas deberán aportar el 20-30 % de la energía total diaria¹¹.

La intervención nutricional en lesiones óseas en corredores se vincula estrechamente con varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas¹⁴, contribuyendo así al impulso de un mundo más saludable, equitativo y sostenible. En primer lugar, esta intervención se alinea con el ODS 3: Salud y Bienestar. Al proporcionar una nutrición adecuada para prevenir y recuperarse de las lesiones óseas, se promueve la salud y el bienestar de los corredores, permitiéndoles continuar con su práctica deportiva de manera segura y efectiva.

Además, el enfoque en la nutrición para prevenir lesiones óseas también apoya el ODS 2: Hambre Cero. Al asegurar una ingesta adecuada de nutrientes esenciales, garantizar el acceso a alimentos nutritivos y promover la educación alimentaria, se puede trabajar hacia el objetivo de erradicar el hambre, asegurar la seguridad alimentaria para todos y garantizar una alimentación saludable y sostenible. Asimismo, esta intervención puede

relacionarse con el ODS 5: Igualdad de Género, dado que las mujeres corredoras presentan un mayor riesgo de lesiones óseas. Al abordar estas diferencias de género y proporcionar intervenciones nutricionales equitativas, se trabaja hacia la igualdad de género en el deporte.

Dada la importancia de acelerar la recuperación de las lesiones para reanudar el entrenamiento lo antes posible y considerando el papel crucial que desempeña la intervención nutricional en este proceso, este trabajo analizará el impacto de la nutrición en la prevención y rehabilitación de lesiones óseas en corredores.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

Evaluar el impacto de la intervención nutricional en la prevención y rehabilitación de lesiones óseas en corredores, con el fin de mejorar la eficacia de los tratamientos y optimizar el retorno a la actividad deportiva.

2.2. Objetivos específicos

- Investigar el impacto de la ingesta calórica y la composición de la dieta en la incidencia de lesiones óseas en corredores.
- Identificar los nutrientes clave implicados en la salud ósea y su contribución en la prevención de lesiones en corredores.
- Establecer la disponibilidad energética necesaria en corredores para prevenir lesiones óseas.

2.3. Preguntas investigables

Este trabajo busca responder a las siguientes preguntas investigables, estructuradas según el modelo PICO¹⁵:

- ¿Cuál es el impacto de la intervención nutricional en la prevención de lesiones y en la mejora del tiempo de recuperación para el retorno a la actividad deportiva en corredores con lesiones óseas al ajustar las necesidades de macronutrientes?
- En corredores con lesiones óseas, ¿cuál es el efecto de la modificación de la disponibilidad energética en términos de recuperación y prevención de lesiones?

3. Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica en las bases de datos Pubmed, Web of Science y Scopus. La consulta se realizó en abril de 2024 y se utilizaron las siguientes palabras clave, combinándolas entre sí con ayuda de los operadores booleanos, para obtener el máximo número de estudios: “bone injury”, “bone stress injury”, “stress fracture”, “nutrition”, “diet”, “macronutrients” y “micronutrients”. Para realizar la búsqueda, se aplicaron filtros de idioma (seleccionando solo inglés y español) y estudios en humanos. Con el objetivo de realizar la revisión lo más actualizada posible, inicialmente se aplicó un filtro de 10 años. Sin embargo, debido a la escasez de material específico sobre corredores, finalmente la búsqueda se limitó hasta el año 2004.

En la tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de las búsquedas realizadas. Se seleccionaron únicamente los artículos que involucraban a corredores, y de entre estos, se excluyeron aquellos cuyos títulos y resúmenes no coincidían con los objetivos del trabajo.

Tabla 1. Algoritmos de búsqueda en las bases de datos y registro de resultados obtenidos

BASE DE DATOS	PALABRAS DE BÚSQUEDA Y OPERADORES BOOLEANOS	FILTROS	ARTÍCULOS
Pubmed	“bone injury” or “bone stress injury” or “stress fracture” AND “nutrition”		Encontrados: 65 Eliminados a partir de título y/o resumen: 58 Seleccionados: 7
	“bone injury” or “bone stress injury” or “stress fracture” AND “diet”	Año de publicación: 2004-2024	Encontrados: 28 Eliminados a partir de título y/o resumen: 24 Seleccionados: 4
	“bone injury” or “bone stress injury” or “stress fracture” AND “macronutrients”	Idioma: español o inglés Población: raza humana	Encontrados: 0 Eliminados a partir de título y/o resumen: 0 Seleccionados: 0
	“bone injury” or “bone stress injury” or “stress fracture” AND “micronutrients”		Encontrados: 59 Eliminados a partir de título y/o resumen: 55 Seleccionados: 4
Web of science	“bone injury” or “bone stress injury” or “stress fracture” AND “nutrition”	Año de publicación: 2004-2024	Encontrados: 133 Eliminados a partir de título y/o resumen: 122 Seleccionados: 11
	“bone injury” or “bone stress injury” or “stress fracture” AND “diet”	Idioma: inglés	Encontrados: 34 Eliminados a partir de título y/o resumen: 30 Seleccionados: 4

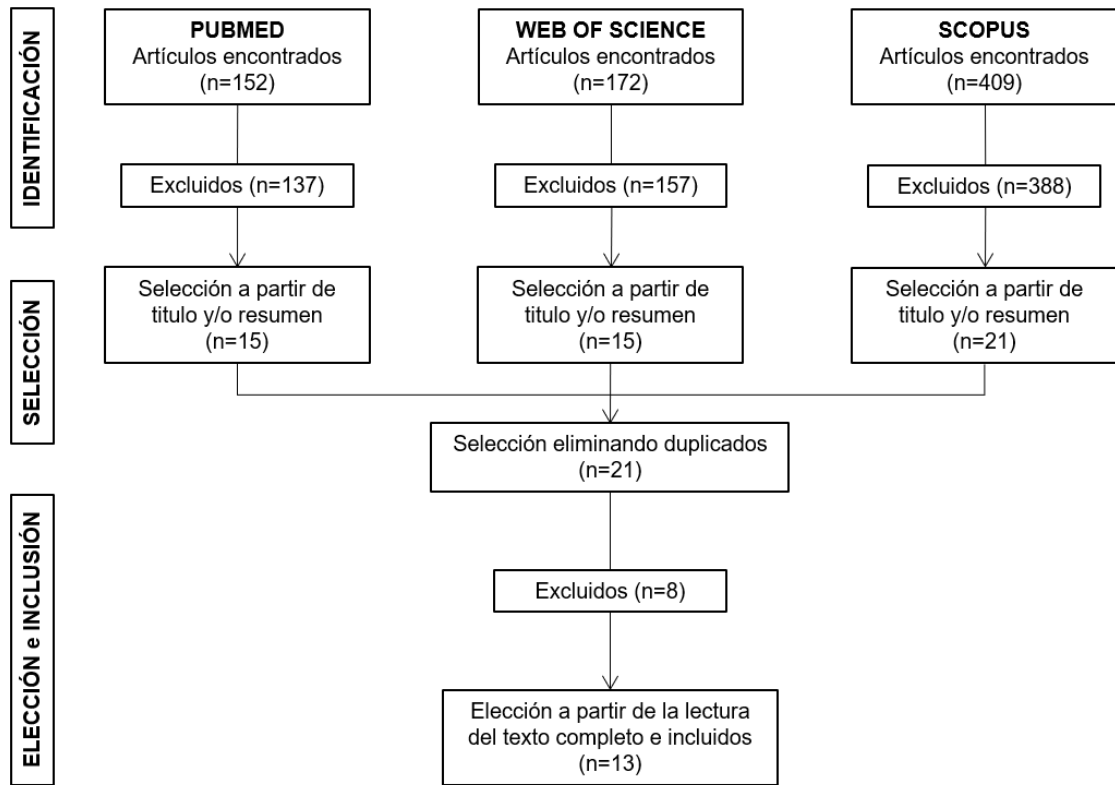
	"bone injury" or "bone stress injury" or "stress fracture" AND "macronutrients"		Encontrados: 1 Eliminados a partir de título y/o resumen: 1 Seleccionados: 0
	"bone injury" or "bone stress injury" or "stress fracture" AND "micronutrients"		Encontrados: 4 Eliminados a partir de título y/o resumen: 4 Seleccionados: 0
	"bone injury" or "bone stress injury" or "stress fracture" AND "nutrition"		Encontrados: 167 Eliminados a partir de título y/o resumen: 153 Seleccionados: 14
Scopus	"bone injury" or "bone stress injury" or "stress fracture" AND "diet"	Año de publicación: 2004-2024	Encontrados: 221 Eliminados a partir de título y/o resumen: 214 Seleccionados: 7
	"bone injury" or "bone stress injury" or "stress fracture" AND "macronutrients"	Idioma: inglés	Encontrados: 8 Eliminados a partir de título y/o resumen: 8 Seleccionados: 0
	"bone injury" or "bone stress injury" or "stress fracture" AND "micronutrients"		Encontrados: 13 Eliminados a partir de título y/o resumen: 13 Seleccionados: 0

Para la selección de artículos, inicialmente se revisaba el título para determinar si establecía una relación entre la alimentación y lesiones óseas en corredores. Si existía tal relación, se procedía a analizar el resumen. Basándose en esta evaluación, y considerando si cumplía con los criterios de inclusión, se tomaba la decisión de examinar el artículo completo para rechazarlo o incluirlo para su análisis.

Para definir los criterios de elegibilidad de los estudios, se aplicaron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- Criterios de inclusión:
 - o Estudios que hayan sido realizados en humanos
 - o Publicaciones posteriores al 2004
 - o Estudios relacionados con corredores
- Criterios de exclusión:
 - o Publicaciones anteriores al 2004
 - o Publicación en cualquier otro idioma que no sea inglés o español
 - o Publicaciones sin texto completo
 - o Estudios realizados en otros deportistas que no sean corredores
 - o Artículos retraídos
 - o No tener acceso al documento completo

Figura 2. Diagrama de flujo de la búsqueda realizada



4. Resultados

De los 21 artículos seleccionados para ser revisados mediante un análisis de texto completo, finalmente se incluyeron 13 artículos en la revisión. De los 13 estudios, 9 se centraron en los factores de riesgo (ver Tabla 2), 2 estudios abordaron la prevención (ver Tabla 3) y los últimos 2 estudios, además de uno de los que trataba sobre los factores de riesgo, analizaron el uso de los suplementos en corredores (ver Tabla 4).

4.1. Factores de riesgo

En un estudio llevado a cabo por Guest y Barr¹⁶, las participantes fueron divididas en dos grupos: el grupo de estudio estaba conformado por corredoras que habían sido diagnosticadas con una SF en las extremidades inferiores en el último año y medio, mientras que el grupo de control consistía en mujeres sin antecedentes de SF. Se identificó que el deseo de controlar la dieta era mayor en el grupo de estudio que en el grupo de control (11.0 ± 5.4 vs. 8.4 ± 4.3 , $p < 0.05$), por ello, se estableció una asociación positiva entre el deseo de controlar la dieta y las SF en mujeres corredoras.

Se observó que las mujeres del grupo SF tenían ingestas diarias de calcio y vitamina D significativamente más altas que las del grupo de control (1290 ± 524 vs. 1024 ± 361 , $p < 0.05$ para el calcio y 214 ± 212 vs. 105 ± 74 , $p < 0.05$ para la vitamina D). No se encontraron diferencias entre los grupos en cuanto a la ingesta de energía, proteínas, HC, grasas, fibra y hierro, consumo de bebidas con cafeína y alcohol, uso de suplementos vitamínicos, minerales o a base de hierbas, nivel de actividad física, IMC y estrés percibido.

En un estudio realizado por Kelsey et al.¹⁷ se observó que una menor ingesta diaria promedio de calcio (Riesgo relativo (RR) = 1.11, intervalo de confianza (IC) del 95 % 0.98-1.25 por cada disminución de 100 mg) y porciones diarias de productos lácteos (RR = 1.41, IC del 95 % 1.01-1.96 por cada disminución de ración) se asociaban con un mayor riesgo de sufrir una SF, independientemente de su asociación con el contenido mineral óseo (CMO) o la DMO. Otros factores de riesgo estadísticamente significativos que aumentaron la probabilidad de sufrir una SF incluyeron: haber experimentado una fractura previa, tener una menor masa ósea, una menarquía más temprana y un menor peso corporal y masa corporal magra.

Los resultados obtenidos por Nieves et al.¹⁸ demostraron que la ingesta de leche desnatada y la ingesta total de productos lácteos se asociaban con una protección contra las SF. Específicamente, cada taza adicional de leche desnatada consumida por día se asoció con un riesgo reducido de fractura del 62 % (Cociente de riesgos (HR) =

0.38, IC del 95 % 0.16-0.90) ($p < 0.05$), y cada porción adicional de productos lácteos consumida por día redujo el riesgo en un 40 % (HR = 0.6, IC del 95 % 0.40-0.89) ($p < 0.05$).

Además, una ingesta más alta de calcio, vitamina D, potasio, café, leche y productos lácteos aumentaron la DMO de la cadera. El aumento del consumo de vitamina D y café aumentaron la DMO de la columna. Por último, los aumentos anuales en la DMO y CMO de todo el cuerpo se relacionaron con ingestas más altas de proteína animal, calcio, potasio, leche y productos lácteos.

También se identificaron 2 patrones dietéticos relacionados con la masa esquelética. Una dieta alta en ingesta de lácteos y baja en ingesta de grasa se asoció con ganancias en la DMO de la cadera. Una dieta alta en ingesta de frutas, verduras y fibra y baja en grasa dietética se asoció con ganancias en la DMO y CMO de todo el cuerpo.

Asimismo, se observó que la ingesta de calcio predijo cambios óseos positivos significativos en mujeres con función menstrual regular e irregular, aunque las magnitudes de los cambios fueron mayores en las mujeres con menstruación irregular. El efecto positivo de la proteína animal en el hueso del cuerpo total se limitó a mujeres con menstruación irregular; no se encontró ningún efecto en mujeres con menstruación regular, y el consumo de productos lácteos predijo un cambio positivo en la DMO de la cadera en ambos grupos menstruales.

El estudio de Wentz et al.¹⁹ no logró demostrar diferencias entre los sujetos con SF y los sujetos del grupo de control en términos de DMO, estradiol sérico, características menstruales, ingesta dietética actual o ingesta previa de lácteos. A pesar de no haber diferencias en la ingesta de lácteos, las porciones de leche durante la escuela secundaria fueron un predictor significativo para la DMO del fémur ($p = 0.1$). La ingesta de cafeína se asoció negativamente con la DMO del fémur ($p = 0.1$) y las horas semanales de entrenamiento se asociaron negativamente con la DMO total del cuerpo ($p = 0.021$), el CMO total del cuerpo ($p = 0.028$) y la DMO de la columna lumbar ($p = 0.011$). En la regresión logística, el riesgo de SF aumentó con la combinación de baja ingesta de calcio en la dieta, antecedentes de irregularidad menstrual, menor DMO, llevar más tiempo corriendo y realizar la carrera a pie predominantemente en terrenos duros.

Wentz et al.²⁰ realizaron un estudio cuyo objetivo era evaluar las asociaciones entre la vitamina D, la salud ósea, y las concentraciones de PTH en corredoras entrenando a 30.4° grados norte. Dado que esta latitud se sitúa dentro de un rango donde la radiación ultravioleta estimula la síntesis de vitamina D durante todo el año, aunque con una

eficacia algo reducida durante los meses de invierno. Los resultados mostraron que las concentraciones medias de 25(OH)D en suero fueron de 122.6 ± 63.9 nmol/L, con un 18.6 % de los sujetos en el rango deficiente (5.1 %) o insuficiente (13.5 %). No se observaron diferencias significativas entre los sujetos con niveles suficientes y los deficientes/insuficientes en cuanto a DMO, PTH, historial de SF o datos demográficos. En el grupo de corredoras con niveles deficientes o insuficientes, los niveles de PTH se aproximaron a una correlación negativa con 25(OH)D, aunque no fue significativa ($r = -0.525$; $p = 0.097$).

Un estudio realizado por Barrack et al.²¹ tenía como objetivo evaluar los predictores de baja DMO, definida como DMO Z-score < -1.0 , en una muestra de adolescentes varones corredores y no corredores. Los resultados demostraron que los factores de riesgo (peso corporal $< 85\%$ del peso esperado, kilometraje semanal > 30 , historial de SF y < 1 porción de alimentos ricos en calcio al día) para sufrir baja DMO eran acumulativos, y cuantos más factores estuvieran presentes, mayor era la probabilidad de sufrir baja DMO. Entre los factores de riesgo de dos variables se encontraba un peso corporal $< 85\%$ del peso esperado + < 1 porción de alimentos ricos en calcio al día (Razón de probabilidades (OR) = 16.5, IC del 95% 1.6-175.0). El objetivo del estudio realizado por Johnston et al.²² era examinar la percepción de las corredoras acerca de los riesgos asociados a las SF. Para ello, las 40 corredoras participantes se dividieron en dos grupos de 20, dependiendo de si habían experimentado SF anteriormente o no. Se observó que las mujeres del grupo SF indicaron correr más millas por semana y era más frecuente que continuaran corriendo a pesar del dolor. Por otro lado, el grupo de corredoras que nunca había sufrido SF consideraba el dolor como una señal de aviso.

Dos tercios de las participantes del grupo SF identificaron deficiencias nutricionales, siendo las más comunes la falta de calcio, hierro, cantidad insuficiente de calorías, proteína, vitamina D, frutas, verduras y productos lácteos. Las mujeres de este grupo informaron haber realizado varios cambios después de sufrir una SF. Los cambios más comunes incluyeron iniciar o aumentar la cantidad de ejercicios de fortalecimiento, enfocarse más en una nutrición adecuada, empezar a tomar suplementos como calcio y vitamina D, incorporar entrenamiento cruzado como el ciclismo o la natación, y modificar la técnica de carrera.

Griffin et al.²³ investigaron los factores asociados con un aumento de SF en corredores universitarios de campo a través. Los resultados indicaron que el 40 % de las corredoras y el 35 % de los corredores informaron antecedentes de SF, y ninguno de ellos alcanzaba la ingesta diaria recomendada de energía, calcio y vitamina D requeridas

para su nivel de entrenamiento. Se encontraron diferencias significativas ($p > 0.001$) en la ingesta de calcio entre corredores masculinos y femeninos con y sin fractura. Los corredores de ambos sexos con SF tuvieron una ingesta media de calcio significativamente más baja en comparación con los corredores sin fracturas; específicamente, las corredoras con fracturas tuvieron una ingesta de calcio un 16.7 % más baja, mientras que los corredores masculinos con fracturas tuvieron una ingesta de calcio un 16.0 % más baja. Del mismo modo, los corredores masculinos y femeninos con SF tuvieron una ingesta media significativamente más baja de vitamina D. Los corredores masculinos con fracturas tuvieron una ingesta de vitamina D un 38.8 % más baja y las corredoras un 45.2 % más baja. Además, los corredores masculinos y femeninos con SF tuvieron una ingesta calórica significativamente más baja. Los corredores masculinos con SF tuvieron una ingesta calórica un 32.1 % más baja que aquellos sin fracturas, mientras que las corredoras con fracturas informaron una ingesta calórica media un 29.8 % más baja que aquellas sin fracturas. No hubo diferencias significativas en el IMC total entre corredores con y sin SF en ninguno de los sexos.

En un estudio realizado por Johnston et al.²⁴ asociaron el sufrir una SF con la osteopenia, osteoporosis, el uso antiinflamatorios no esteroideos y de suplementos de calcio, vitamina D y probióticos, la menarquía tardía, y estar ≥ 6 meses sin periodo menstrual ($p < 0.01$). También hubo una asociación entre las SF y la autopercepción de no consumir suficientes calorías para la actividad ($p = 0.04$). Concretamente, las probabilidades de experimentar una SF fueron 1.45 veces mayores (OR = 1.45, IC del 95 % 1.10-1.91) para aquellas que han pasado 6 meses o más sin menstruación (excluyendo el embarazo), y aproximadamente cuatro veces más alta para aquellas con osteopenia en comparación con aquellas sin osteopenia (OR = 4.14, IC del 95 % 2.38-7.17). El uso de suplementos también aumentó el riesgo de sufrir SF, calcio (OR = 1.78, IC del 95 % 1.25-2.55), vitamina D (OR = 1.54, IC del 95 % 1.11-2.15) y probióticos (OR = 1.47, IC del 95 % 1.05-2.05). Además, observaron que las mujeres más jóvenes, más bajas, con menos peso, con un IMC inferior y las que practicaban como entrenamiento cruzado ciclismo o natación sufrían más SF. Los días de carrera a pie por semana, el kilometraje promedio durante el último año tanto en temporada como fuera de temporada, el ritmo de carrera, los años siendo corredora, sufrir otras lesiones y tener diagnosticado asma también tuvieron asociaciones estadísticamente significativas con las SF ($p < 0.01$).

Tabla 2. Resumen de los artículos sobre los factores de riesgo y consumo dietético asociados a fracturas por estrés.

Autor y Año	Participantes	Género	Edad	Resultados
Guest y Barr (2005) ¹⁶	n=79 - Grupo SF n=38 - Grupo sin SF n=41	Mujer	20-40 años	El deseo de controlar la dieta fue mayor en el grupo de estudio que en el grupo de control (11.0 ±5.4 vs. 8.4 ±4.3, p<0.05). Las mujeres del grupo de estudio tenían ingestas diarias de Ca y Vit D significativamente más altas que las del grupo de control (1290 ±524 vs. 1024 ±361, p<0.05 para el Ca y 214 ±212 vs. 105 ±74, p<0.05 para la Vit D). No se encontraron diferencias entre los grupos en cuanto a la ingesta de energía, macronutrientes, fibra y Fe, consumo de bebidas con cafeína y alcohol, uso de suplementos vitamínicos, minerales o a base de hierbas, nivel de actividad física, IMC y estrés percibido.
Kelsey et al. (2007) ¹⁷	n=127	Mujer	18-26 años	Una menor ingesta diaria promedio de Ca (RR=1.11, IC del 95 % 0.98-1.25 por cada disminución de 100 mg) y porciones diarias de productos lácteos (RR=1.41, IC del 95 % 1.01-1.96 por cada disminución de ración) se asoció con mayor riesgo de sufrir una SF. Factores de riesgo estadísticamente significativos: haber experimentado una fractura previa, tener una menor masa ósea, una menarquía más temprana y un menor peso corporal y masa corporal magra.
Nieves et al. (2010) ¹⁸	n= 125	Mujer	18-26 años	Cada taza adicional de leche desnatada consumida por día se asoció con un riesgo reducido de SF del 62 % (HR=0.38, IC del 95 % 0.16-0.90) (p<0.05), y cada porción adicional de productos lácteos consumida por día redujo el riesgo en un 40 % (HR=0.6, IC del 95 % 0.40-0.89) (p<0.05). Una ingesta más alta de Ca, Vit D, K, café, leche y productos lácteos aumentaron la DMO de la cadera. Los aumentos anuales en la DMO y CMO de todo el cuerpo se relacionaron con ingestas más altas de proteína animal, Ca, K, leche y productos lácteos.
Wentz et al. (2012) ¹⁹	n=68 - Grupo SF n=27 - Grupo sin SF n=41	Mujer	18-40 años	No hubo diferencias entre los sujetos con SF y los sujetos del grupo de control en términos de DMO, estradiol sérico, características menstruales, ingesta dietética actual o ingesta previa de lácteos. Las porciones de leche durante la escuela secundaria fueron un predictor significativo para la DMO del fémur (p=0.1). La ingesta de cafeína se asoció negativamente con la DMO del fémur (p=0.1) y las horas semanales de entrenamiento se asociaron negativamente con la DMO total del cuerpo (p=0.021), el CMO total del cuerpo (p=0.028) y la DMO de la columna lumbar (p=0.011).
Wentz et al. (2016) ²⁰	n=59 - Grupo SF n=27 - Grupo sin SF n=32	Mujer	18-40 años	Las concentraciones medias de 25(OH)D en suero fueron de 122.6 ±63.9 nmol/L, con un 18.6 % de los sujetos en el rango deficiente (5.1 %) o insuficiente (13.5 %). No se observaron diferencias significativas entre los sujetos con niveles suficientes y los deficientes o insuficientes en cuanto a DMO, PTH, historial de SF o datos demográficos. En el grupo de corredoras con niveles deficientes o insuficientes, los niveles de PTH se aproximaron a una correlación negativa con 25(OH)D, aunque no fue significativa (r=-0.525; p=0.097).

Barrack et al. (2017) ²¹	n=69	Hombre	13-19 años	Los factores de riesgo (peso corporal <85% del peso esperado, kilometraje semanal >30, historial de SF y <1 porción de alimentos ricos en Ca al día) para sufrir baja DMO eran acumulativos. Un peso corporal <85 % del peso esperado + <1 porción de alimentos ricos en calcio al día aumentaba el riesgo de SF (OR=16.5, IC del 95% 1.6- 175.0).
Johnston et al. (2020) ²²	n=40 - Grupo SF n=20 - Grupo sin SF n=20	Mujer	22-50 años	Las mujeres del grupo SF indicaron correr más millas por semana y continuar corriendo a pesar del dolor. El grupo de corredoras sin SF consideraba el dolor como una señal de aviso. Dos tercios de las participantes del grupo SF identificaron deficiencias nutricionales (Ca, Fe, cantidad insuficiente de calorías, proteína, Vit D, frutas, verduras y productos lácteos).
Griffin et al. (2021) ²³	n=42 - Hombres n=20 - Mujeres n=22	Hombre y mujer	18-24 años	Se encontraron diferencias significativas ($p > 0.001$) en la ingesta dietética entre los corredores con y sin SF: - El grupo con SF mostró una ingesta de Ca más baja, con una reducción del 16.7 % en mujeres y del 16.0 % en hombres. - La ingesta de Vit D fue significativamente menor en el grupo con SF, con una disminución del 45.2 % en mujeres y del 38.8 % en hombres. - El grupo con SF presentó una ingesta calórica más baja, con una reducción del 29.8 % en mujeres y del 32.1 % en hombres. No hubo diferencias significativas en el IMC total entre corredores con y sin SF en ninguno de los sexos.
Johnston et al. (2021) ²⁴	n=1674	Mujer	18-79 años	Asociación entre SF y la autopercepción de no consumir suficientes calorías para la actividad ($p=0.04$). Probabilidades de SF 1.45 veces mayor (OR=1.45, IC del 95 % 1.10-1.91) para corredoras ≥ 6 meses sin menstruación Probabilidades de SF mayores al sufrir osteopenia (OR=4.14, IC del 95 % 2.38-7.17). El uso de suplementos aumentó el riesgo de sufrir SF, Ca (OR=1.78, IC del 95 % 1.25-2.55), Vit D (OR=1.54, IC del 95 % 1.11-2.15) y probióticos (OR=1.47, IC del 95 % 1.05-2.05). Las mujeres más jóvenes, más bajas, con menos peso, con un IMC inferior y las que practicaban como entrenamiento cruzado ciclismo o natación sufrían más SF. Los días de carrera a pie por semana, el kilometraje promedio durante el último año, el ritmo de carrera, los años siendo corredora, sufrir otras lesiones y tener diagnosticado asma también tuvieron asociaciones estadísticamente significativas con las SF ($p < 0.01$).

Ca=calcio, HR=cociente de riesgos, CMO=contenido mineral óseo, DMO=densidad mineral ósea, SF=fractura por estrés, Fe=hierro, IMC=índice de masa corporal, IC=intervalo de confianza, K=potasio, OR=razón de probabilidades, RR=riesgo relativo, Vit D=vitamina D

4.2. Prevención

En un estudio llevado a cabo por de Sousa et al.²⁵, el objetivo era evaluar el efecto de la suplementación con HC en los marcadores del recambio óseo en corredores de élite masculinos. Estos corredores fueron asignados aleatoriamente al grupo de HC o al grupo de control. Los participantes fueron sometidos a un programa de entrenamiento de sobrecarga de 8 días que incluyó 13 sesiones. Posteriormente, en el día 9, realizaron un protocolo de carrera intermitente de alta intensidad (10x800 metros). Ambos grupos recibieron una dieta isocalórica, con una mayor ingesta de HC en el grupo de HC en comparación con el grupo de control. El grupo de HC consumió 1 g de maltodextrina por kg de peso corporal por hora de carrera como suplemento durante los primeros 8 días de entrenamiento, mientras que al grupo de control se le administró una solución placebo. De esta manera, los HC representaban el 61 % de la dieta en el grupo de suplementación y el 54 % en el grupo de control. Los resultados mostraron que, en el programa de entrenamiento de sobrecarga (días 1-8), los niveles de osteocalcina disminuyeron en ambos grupos. En el grupo HC, los niveles fueron de 28.8 ± 3.6 ng/mL antes y 24.8 ± 3.0 ng/mL después, mientras que en el grupo de control fueron de 26.6 ± 2.4 ng/mL antes y 21.9 ± 1.6 ng/mL después ($p < 0.01$). En el protocolo de carrera intermitente del día 9, la concentración de osteocalcina aumentó en ambos grupos ($p < 0.001$) y permaneció más alta a los 80 minutos del periodo de recuperación en el grupo de control ($p < 0.001$). En cuanto a los niveles de CTX (un biomarcador bioquímico utilizado para evaluar la actividad de la resorción ósea), la suplementación con HC fue efectiva para disminuir los niveles de CTX desde el inicio hasta la recuperación (0.5 ± 0.1 ng/mL a 0.3 ± 0.1 ng/mL, $p < 0.001$), mientras que se observó un aumento de 0.4 ± 0.0 ng/mL a 0.6 ± 0.0 ng/mL ($p < 0.001$) en el grupo de control. Los niveles de PTH aumentaron después de correr en ambos grupos (grupo HC $p < 0.01$ y grupo control $p < 0.001$), pero estas concentraciones disminuyeron rápidamente a los 80 minutos del periodo de recuperación y no fueron significativamente diferentes de la línea base.

Fredericson et al.¹⁰ evaluaron el efecto de una intervención de educación nutricional que enfatiza en la EA sobre la incidencia de BSI entre corredoras de larga distancia. Al analizar el impacto de la intervención en la tasa de BSI, se encontró una disminución significativa ($p = 0.047$) en BSI en huesos ricos en trabéculas de la fase histórica a la fase de intervención, pero no así en BSI en huesos ricos en cortical ($p = 0.87$). La tasa ajustada de BSI ricos en trabéculas disminuyó de 0.18 eventos por persona/año en la fase histórica a 0.10 eventos por persona año en la fase de intervención, mientras que las tasas de BSI ricos en cortical permanecieron similares en las fases históricas y de intervención (0.31 y 0.35 eventos por persona/año, respectivamente).

Estos cambios dependieron de la institución, ya que en la institución 1, la tasa general de BSI disminuyó de 0.63 a 0.27 eventos por persona/año de la fase histórica a la fase de intervención ($p=0.041$), mientras que no se observó ninguna disminución en la institución 2.

Tabla 3. Resumen de los estudios sobre la prevención de lesiones óseas en corredores.

Autor y Año	Intervención	Resultados
de Sousa et al. (2014) ²⁵	<p>Corredores de élite masculinos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Grupo HC (n=12): consumo de 1 g de maltodextrina por kg peso corporal por hora de carrera durante 8 días de entrenamiento - Grupo CON (n=12): solución placebo 	<p><u>Osteocalcina:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Disminución durante el periodo de sobrecarga (grupo HC, 28.8 ±3.6 ng/mL antes y 24.8 ±3.0 ng/mL después; grupo CON 26.6 ±2.4 ng/mL antes y 21.9 ±1.6 ng/mL después) (p<0.01). - Aumento de la concentración en ambos grupos (p<0.001) y permaneció más alta a los 80 minutos del periodo de recuperación en el grupo CON (p<0.001). <p><u>CTX:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Suplementación con HC efectiva para disminuir los niveles de CTX desde el inicio hasta la recuperación (0.5 ±0.1 ng/mL a 0.3 ±0.1 ng/mL, p<0.001) - Aumento de 0.4 ±0.0 ng/mL a 0.6 ±0.0 ng/mL (p<0.001) en el grupo CON. <p><u>PTH:</u> los niveles aumentaron después de correr en ambos grupos, (grupo HC p<0.01 y grupo CON p<0.001), pero estas concentraciones disminuyeron rápidamente a los 80 minutos del periodo de recuperación y no fueron significativamente diferentes de la línea base.</p>
Fredericson et al. (2023) ¹⁰	<p>Intervención de educación nutricional en corredoras</p> <ul style="list-style-type: none"> - Institución 1 n=34 - Institución 2 n= 44 	<p>En la institución 1, la tasa general de BSI disminuyó de 0.63 a 0.27 eventos por persona/año de la fase histórica a la fase de intervención (p=0.041). En la institución 2 no se observó ninguna disminución.</p> <p><u>Hueso rico en trabéculas</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Disminución significativa (p=0.047) en la tasa de BSI en la fase de intervención en comparación con la fase histórica. - Disminución de la tasa ajustada de BSI (0.18 a 0.10 eventos por persona/año de la fase histórica a la fase de intervención) <p><u>Hueso rico en cortical</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - No hubo cambios significativos en la tasa de BSI entre las fases históricas y de intervención (p=0.87) - La tasa ajustada de BSI permanecieron similares en las fases históricas y de intervención (0.31 y 0.35 eventos por persona/año, respectivamente).

HC=carbohidratos, CON=control, PTH=hormona paratiroidea, BSI=lesiones por estrés óseo, CTX=telopéptido carboxiterminal del colágeno tipo I

4.3. Uso de suplementos

En el estudio de Wentz et al.²⁰, cuyo propósito era evaluar las asociaciones entre la vitamina D, la salud ósea y las concentraciones de PTH, se observó que de las 59 corredoras, 21 consumían un suplemento de vitamina D y calcio (n=4 con niveles insuficientes o deficientes y n=17 con niveles suficientes). Además, 31 corredoras tomaban un multivitamínico que contenía calcio y vitamina D (n=4 con niveles insuficientes o deficientes y n=26 con niveles suficientes). La suplementación con vitamina D por parte de las corredoras fue similar en el grupo de control como en el grupo de SF, con el 60 % de cada grupo consumiendo vitamina D suplementaria. Asimismo, se encontró que 11 de los 19 sujetos con niveles de suero 25(OH)D superiores a 125 nmol/L consumían suplementos de vitamina D.

Barrack et al.²⁶ evaluaron la prevalencia del uso de suplementos dietéticos entre corredores universitarios de élite de 2 equipos de campo a través y su relación con el riesgo de sufrir los factores de riesgo de la triada. Los resultados del estudio mostraron que alrededor del 80 % de los participantes utilizaban suplementos dietéticos, siendo los más comunes los multivitamínicos, hierro, vitamina D, calcio, ácidos grasos y la cafeína. La preferencia por tipos específicos de suplementos variaba según el género. Las corredoras femeninas tenían más probabilidades de usar hierro y calcio, mientras que los corredores masculinos informaron un mayor uso de suplementos de aminoácidos, beta-alanina y mostraron una tendencia hacia un mayor uso de suplementos de ácidos grasos. El estudio reveló que los corredores con antecedentes de una o más lesiones óseas previas reportaron un uso significativamente mayor de calcio (47.7 % vs. 19.4 %, $p < 0.001$), vitamina D (49.2 % vs. 19.4 %, $p < 0.001$) y el uso de 3 o más suplementos (61.5 % vs. 32.8 %, $p < 0.001$). Además, los corredores que cumplían con los criterios para baja DMO (en comparación con normal) también informaron una frecuencia más alta de uso de calcio (64.0 % vs. 31.4 %, $p = 0.01$) y vitamina D (68.0 % vs. 37.1 %, $p = 0.02$).

En otro estudio de Barrack et al.²⁷ el objetivo era describir el uso de suplementos dietéticos y alimentos deportivos entre atletas de resistencia preadolescentes e identificar las características asociadas de los usuarios de suplementos dietéticos en esa población. El 26.1 % de los participantes en el estudio consumía por lo menos 2 veces por semana un suplemento dietético, y el 47.2 % de los participantes consumía algún tipo de suplemento o alimento deportivo (bebidas y barritas proteicas, barritas energéticas y bebidas de HC y electrolitos).

En comparación con los corredores masculinos, las corredoras femeninas informaron un mayor uso de uno o más suplementos (32.5 % vs. 21.7 %, $p < 0.001$) y de cuatro o más suplementos (4.0 % vs. 1.9 %, $p = 0.005$), multivitamínicos/minerales (24.2 % vs. 14.4 %, $p < 0.001$), vitamina D (12.4 % vs. 5.6 %, $p < 0.001$), calcio (8.9 % vs. 4.8 %, $p < 0.001$), hierro (3.1 % vs. 1.1 %, $p < 0.001$), suplementos probióticos (8.2 % vs. 1.3 %, $p < 0.001$) y pastillas para adelgazar (0.5 % vs. 0.0 %, $p = 0.02$). Los corredores masculinos informaron un mayor uso de creatina (1.3 % vs. 0.0 %, $p < 0.001$) y alimentos deportivos, incluyendo barras y bebidas proteicas (19.5 % vs. 8.4 %, $p < 0.001$), barras energéticas (23.5 % vs. 9.7 %, $p < 0.001$) y bebidas de HC y electrolitos (27.9 % vs. 13.3 %, $p < 0.001$) que las corredoras femeninas.

Los factores asociados de manera independiente con una mayor probabilidad de uso de suplementos dietéticos incluyeron la pérdida de peso en el último año (Razón de probabilidades ajustada (AOR) = 7.9, IC del 95 % 3.7-16.8, $p < 0.001$), seguir una dieta vegetariana (AOR = 4.3, IC del 95 % 3.3-5.7, $p < 0.001$), tener antecedentes de BSI (AOR = 3.4, IC del 95 % 2.2-5.4, $p < 0.001$), el género femenino (en comparación con el masculino) (AOR = 1.8, IC del 95 % 1.5-2.3, $p < 0.001$), intentar aumentar de peso (AOR = 1.7, IC del 95 % 1.2-2.5, $p = 0.007$) y saltarse comidas (AOR = 1.5, IC del 95 % 1.0-2.2, $p = 0.046$).

Tabla 4. Resumen de los estudios que analizan el uso de suplementos en corredores.

Autor y Año	Numero participantes	Edad	Resultados
Wentz et al. (2016) ²⁰	n=59 mujeres - Grupo SF n=27 - Grupo sin SF n=32	18-40 años	21 corredoras (n=4 con niveles insuficientes/deficientes y n=17 con niveles suficientes) consumían suplemento de Vit D + Ca. 31 mujeres (=4 con niveles insuficientes/deficientes y n=26 con niveles suficientes) tomaban multivitamínico que contenía Vit D y Ca. La suplementación con Vit D fue similar en el grupo de estudio y control (60 % de cada grupo). 11 de los 19 sujetos con niveles de suero 25(OH)D superiores a 125 nmol/L consumían suplementos de Vit D.
Barrack et al. (2021) ²⁶	n=135 - Hombre n=65 - Mujer n=70	18-22 años	Alrededor del 80 % de los participantes utilizaban suplementos dietéticos, siendo los más comunes los multivitamínicos, Fe, Vit D, Ca, ácidos grasos y la cafeína. Las corredoras femeninas tenían más probabilidades de usar Fe y Ca, mientras que los corredores masculinos informaron un mayor uso de suplementos de aminoácidos, beta-alanina y mostraron una tendencia hacia un mayor uso de suplementos de ácidos grasos. Los corredores con antecedentes de una o más lesiones óseas previas reportaron un uso significativamente mayor de Ca (47.7 % vs. 19.4 %, p<0.001), Vit D (49.2 % vs. 19.4 %, p<0.001) y el uso de 3 o más suplementos (61.5 % vs. 32.8 %, p<0.001). Los corredores que cumplían con los criterios para baja DMO (en comparación con normal) informaron una frecuencia más alta de uso de Ca (64.0 % vs. 31.4 %, p=0.01) y Vit D (68.0 % vs. 37.1 %, p=0.02).
Barrack et al. (2022) ²⁷	n= 2113 - Hombre n=1255 - Mujer n=858	13.2 ±0.9 años	El 26.1 % consumía por lo menos 2 veces por semana un suplemento dietético, y el 47.2 % algún suplemento o alimento deportivo. Las corredoras femeninas informaron un mayor uso de uno o más suplementos (32.5 % vs. 21.7 %, p<0.001) y de cuatro o más suplementos (4.0 % vs. 1.9 %, p=0.005), multivitamínicos/minerales (24.2 % vs. 14.4 %, p<0.001), Vit D (12.4 % vs. 5.6 %, p<0.001), Ca (8.9 % vs. 4.8 %, p<0.001), Fe (3.1 % vs. 1.1 %, p<0.001), suplementos probióticos (8.2 % vs. 1.3 %, p<0.001) y pastillas para adelgazar (0.5 % vs. 0.0 %, p=0.02) en comparación con los corredores masculinos. Los corredores masculinos informaron un mayor uso de creatina (1.3 % vs. 0.0 %, p<0.001) y alimentos deportivos, incluyendo barras y bebidas proteicas (19.5 % vs. 8.4 %, p<0.001), barras energéticas (23.5 % vs. 9.7 %, p<0.001) y bebidas de HC y electrolitos (27.9 % vs. 13.3 %, p<0.001) que las corredoras femeninas. Los factores asociados de manera independiente con una mayor probabilidad de uso de suplementos dietéticos incluyeron la pérdida de peso en el último año (AOR=7.9, IC del 95 % 3.7-16.8, p<0.001), seguir una dieta vegetariana (AOR=4.3, IC del 95 % 3.3-5.7, p<0.001), tener antecedentes de BSI (AOR=3.4, IC del 95 % 2.2-5.4, p<0.001), el género femenino (en comparación con el masculino) (AOR=1.8, IC del 95 % 1.5-2.3, p<0.001), intentar aumentar de peso (AOR=1.7, IC del 95 % 1.2-2.5, p=0.007) y saltarse comidas (AOR=1.5, IC del 95 % 1.0-2.2, p=0.046).

Ca=calcio, HC=carbohidratos, DMO=densidad mineral ósea, SF=fractura por estrés, Fe=hierro, BSI=lesión por estrés óseo, AOR=razón de probabilidades ajustada, Vit D=vitamina D

5. Discusión

Este trabajo tenía como objetivo principal evaluar el impacto de la intervención nutricional en la prevención y rehabilitación de lesiones óseas en corredores, con el fin de optimizar el retorno a la actividad deportiva y mejorar la eficacia de los tratamientos. Para ello, se ha realizado el análisis de 13 artículos.

En cuanto a la identificación de los nutrientes clave para la salud ósea y su contribución en la prevención de lesiones en corredores, los resultados del estudio de Nieves et al.¹⁸ muestran que una adecuada ingesta de calcio y vitamina D aumenta la DMO y el CMO. Además, Barrack et al.²¹ observaron que consumir menos de una porción de alimentos ricos en calcio al día era un factor de riesgo acumulativo para sufrir baja DMO.

Por otro lado, Kelsey et al.¹⁷ observaron que una menor ingesta diaria promedio de calcio se asociaba con un mayor riesgo de sufrir una SF. De manera similar, Griffin et al.²³ encontraron que el grupo de corredores con SF tenía una ingesta menor de calcio. En el estudio de Johnston et al.²², dos tercios del grupo de mujeres con SF tenían deficiencias de calcio.

Asimismo, Wentz et al.¹⁹ observaron que la combinación de una baja ingesta de calcio junto con otros factores de riesgo (antecedentes de irregularidad menstrual, menor DMO, correr en terrenos duros, entre otros) aumentaba el riesgo de sufrir una SF. De manera similar, Griffin et al.²³ encontraron que el grupo de corredores con SF también tenía una ingesta de vitamina D inferior, y Johnston et al.²² observaron que dos tercios del grupo de corredoras con SF sufrían deficiencias de esta vitamina.

Respecto a las calorías consumidas, los estudios de Johnston et al.²², Griffin et al.²³ y Johnston et al.²⁴ relacionaron un menor consumo de calorías con las SF, aunque el estudio de Guest y Barr¹⁶ no encontró diferencias en la energía consumida entre corredoras con SF y sin SF.

Kelsey et al.¹⁷ y Johnston et al.²² asociaron una menor ingesta de leche y productos lácteos también con mayor riesgo de sufrir SF, mientras que Nieves et al.¹⁸ observaron que una mayor ingesta de estos alimentos se relacionaba con una protección contra este tipo de lesiones y un aumento de la DMO y el CMO. Sin embargo, Wentz et al.¹⁹ no encontraron diferencias entre la ingesta dietética actual o previa de productos lácteos y el riesgo de SF, aunque observaron que las porciones de leche durante la escuela secundaria eran un predictor significativo para la DMO del fémur.

El consumo de proteínas también puede estar relacionado con las lesiones óseas. Johnston et al.²² observaron que en el grupo con SF, dos tercios de las participantes sufrían deficiencias de proteína, aunque Guest y Barr¹⁶ no encontraron diferencias en la ingesta de proteínas entre el grupo de control y grupo con SF. Nieves et al.¹⁸ relacionaron un aumento de la DMO y el CMO con ingestas más altas de proteína animal.

Se ha observado que el uso de suplementos dietéticos es común entre corredores, pero las preferencias varían según el género. Barrack et al.²⁶ observaron que las mujeres realizaban un consumo más elevado de hierro y calcio, mientras que los hombres aminoácidos, beta-alanina y ácidos grasos. Otro estudio de Barrack et al.²⁷ observó que las corredoras tenían un mayor uso de los siguientes suplementos: multivitamínicos y minerales, calcio, vitamina D, hierro, probióticos y pastillas para adelgazar. Mientras, los hombres realizaban un consumo mayor de creatina y alimentos deportivos. Esto es, las corredoras femeninas tienden más a consumir multivitamínicos y minerales, mientras que los corredores masculinos prefieren suplementos enfocados al rendimiento deportivo. En cuanto a la relación entre el uso de suplementos y las lesiones óseas, en el estudio de Barrack et al.²⁶ los corredores con antecedentes de lesiones óseas y aquellos con criterios para baja DMO informaron un mayor uso de suplementos de calcio y vitamina D. Además, Barrack et al.²⁷ observaron que los corredores con antecedentes de BSI también tenían mayor probabilidad de usar suplementos, lo que sugiere una asociación entre el uso de suplementos y la historia de lesiones óseas. Johnston et al.²⁴ asociaron el sufrir SF con el uso de suplementos de calcio y vitamina D, aunque los estudios de Guest y Barr¹⁶ y Wentz et al.²⁰ no observaron diferencias en el uso de suplementos entre el grupo de control y el grupo de SF.

Siguiendo con la suplementación, Sousa et al. observaron que la suplementación con HC puede ser efectiva para disminuir los niveles de resorción ósea²⁵. El estudio realizado por Guest y Barr¹⁶ encontró que las mujeres que habían sufrido una SF tenían ingestas diarias de calcio y vitamina D superiores, aunque no consumían más suplementos. Esto sugiere que el aumento de la ingesta podría deberse a una mayor concienciación sobre la importancia de estos nutrientes, como se observó en el estudio de Johnston et al.²², donde las mujeres que habían sufrido una SF se enfocaron en seguir una nutrición adecuada y aumentaron el consumo de suplementos de calcio y vitamina D.

Los resultados recogidos en esta revisión bibliográfica deben interpretarse teniendo en cuenta sus limitaciones. Al seleccionar varios filtros en referencia al idioma y la fecha de

publicación, puede haberse eliminado información relevante que no ha sido identificada. Además, varios de los estudios encontrados en la búsqueda incluían participantes que eran atletas de diferentes disciplinas, no solo corredores, lo que llevó a la exclusión de esos artículos por no centrarse exclusivamente en corredores. Asimismo, se observó que diversos estudios utilizaban incorrectamente el término “atleta” para referirse a cualquier deportista, y no solo a los practicantes de atletismo.

Por otro lado, cabe destacar que gran parte de los estudios se centran en una lesión ósea concreta, las SF, limitando la generalización de los resultados a otros tipos de lesiones óseas y subrayando la necesidad de ampliar la investigación para incluir un espectro más amplio de lesiones.

En cuanto a las fortalezas, es importante destacar que se realizaron diversas búsquedas en varias bases de datos, utilizadas mediante una combinación exhaustiva de palabras clave. Esto permitió contemplar un amplio número de estudios para su análisis. Además, las muestras de los estudios son bastantes heterogéneas, abarcando tanto poblaciones de mujeres como de hombres de diferentes edades, desde jóvenes hasta mayores.

6. Aplicabilidad y nuevas líneas de investigación

La revisión realizada deja uno de los objetivos sin poder contestar, ya que no se puede establecer una EA necesaria para prevenir lesiones óseas en corredores. Por ello, se plantea una nueva línea de investigación con el objetivo de dar respuesta a esta falta de información y poder analizar el efecto de la modificación de la EA en términos de recuperación y prevención de lesiones.

6.1. Diseño y tipo de estudio o intervención

La línea de investigación propuesta tiene como objetivo evaluar la EA necesaria para prevenir lesiones óseas en corredores. Para ello, se ha diseñado un estudio longitudinal de cohorte prospectivo con intervención nutricional controlada, que se desarrollará durante un periodo de dos años; con evaluaciones semestrales.

El diseño longitudinal permitirá observar cambios en la DMO y la incidencia de lesiones óseas a lo largo del tiempo en relación con la EA. La intervención nutricional consistirá en ajustar la ingesta calórica y de macronutrientes de los participantes según sus necesidades energéticas individuales, basadas en sus niveles de actividad física y metabolismo basal. Este estudio estará monitorizado tanto por graduados en Nutrición Humana y Dietética como por graduados en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, para asegurar una buena monitorización tanto de la ingesta nutricional como de la actividad física.

6.2. Población diana

La población diana estará compuesta por corredores de fondo y medio fondo, tanto hombres como mujeres, con edades comprendidas entre los 18 y 35 años, y al menos tres años de experiencia competitiva. Se incluirán corredores de diversos niveles de rendimiento, desde amateurs hasta élite, para obtener una muestra representativa de la comunidad de corredores. Se excluirán aquellos con condiciones médicas preexistentes que puedan influir en la salud ósea o la capacidad para realizar actividad física intensa.

6.3. Sistema de recogida de datos

La recogida de datos se realizará de manera sistemática y periódica. Los datos se recopilarán mediante los siguientes métodos:

- Cuestionarios dietéticos y diarios alimentarios: Los participantes completarán cuestionarios validados sobre sus hábitos alimenticios y llevarán un diario de alimentación durante una semana cada seis meses.

- Registro de actividad física: Se utilizarán dispositivos portátiles, como acelerómetros y pulsómetros, para registrar la actividad diaria y la carga de entrenamiento.
- Análisis bioquímicos de sangre: Se tomarán muestras de sangre cada seis meses para medir biomarcadores de salud ósea como, niveles de calcio, vitamina D, PTH, CTX, osteocalcina, fosfato, fosfatasa alcalina ósea y proteína C-reactiva.
- Composición corporal. Para conocer la composición corporal de los deportistas, cada seis meses realizarán una densitometría ósea (DEXA), que además de evaluar la DMO proporcionara otros valores como el porcentaje de grasa corporal o la tasa metabólica basal.
- Evaluaciones clínicas: Cada seis meses, se realizarán exámenes médicos completos para detectar cualquier lesión ósea.

6.4. Variables de estudio

Las variables independientes de este estudio serán la ingesta calórica diaria, la distribución de los macronutrientes, el uso de suplementos dietéticos y el nivel de actividad física (tiempo, intensidad y tipo de ejercicio). Las variables dependientes en cambio incluyen la incidencia de lesiones óseas, la DMO en diferentes sitios del cuerpo, los biomarcadores de salud ósea y los cambios en la composición corporal (MLG y masa grasa).

6.5. Estrategia de análisis de datos

El análisis de datos se llevará a cabo utilizando el software estadístico IBM SPSS. Todos los resultados se considerarán estadísticamente significativos con un valor de $p < 0.05$. Los IC del 95 % se informarán para proporcionar una estimación precisa del efecto de las variables independientes sobre las dependientes.

6.6. Consideraciones éticas

Los participantes firmarán un consentimiento antes de iniciar el estudio, donde se explicará el propósito, los procedimientos, los beneficios y los posibles riesgos. Se garantizará la confidencialidad de los datos y el derecho de los participantes a abandonar el estudio en cualquier momento sin repercusiones. Además, el estudio contará con la aprobación de un comité de ética de investigación.

7. Conclusiones

Una dieta que contemple una adecuada ingesta de calcio y vitamina D está estrechamente relacionada con un aumento en la DMO y CMO, subrayando la importancia vital de estos nutrientes para mantener la salud ósea. Por el contrario, la deficiencia de calcio y vitamina D se asocia con un mayor riesgo de SF.

La relación entre la ingesta calórica y las lesiones óseas es compleja y aún objeto de estudio. Aunque varios estudios sugieren que un menor consumo de calorías aumenta el riesgo de SF, no todos encuentran diferencias significativas en la cantidad de energía consumida entre corredores con y sin estas fracturas.

El consumo de leche y productos lácteos está vinculado con una mayor DMO y CMO, lo que sugiere un efecto protector contra las lesiones óseas. Sin embargo, la relación entre el consumo actual o pasado de lácteos y el riesgo de SF no siempre es clara en todos los estudios.

La deficiencia de proteínas afecta a un número considerable de corredores con SF. Aunque no todos los estudios confirman una relación directa entre la ingesta de proteínas y la incidencia de estas fracturas, se observa que una mayor ingesta de proteína animal se asocia con un aumento en la DMO y CMO, sugiriendo un beneficio potencial para la salud ósea en general.

El uso de suplementos dietéticos es frecuente entre los corredores y varía según el género. Las mujeres tienden a consumir más multivitamínicos y minerales, mientras que los hombres prefieren suplementos orientados al rendimiento deportivo. La suplementación con calcio y vitamina D es más común entre los corredores con antecedentes de lesiones óseas y baja DMO, indicando que estos suplementos pueden ser una respuesta a lesiones previas. No obstante, la diferencia en el uso de suplementos entre corredores con y sin SF no siempre es significativa en todos los estudios.

En resumen, una nutrición adecuada que incluya suficiente calcio, vitamina D y proteínas, así como una ingesta calórica adecuada y el uso adecuado de suplementos dietéticos, son fundamentales para la prevención y rehabilitación de las lesiones óseas en corredores. Además, la educación y la concienciación sobre la importancia de estos nutrientes parecen desempeñar un papel crucial en la mejora de la salud ósea y la reducción del riesgo de lesiones.

8. Bibliografía

1. Kelly S, Waring A, Stone B, Pollock N. Epidemiology of bone injuries in elite athletics: A prospective 9-year cohort study. *Phys Ther Sport*. marzo de 2024;66:67-75.
2. Martínez-Silván D, Wik EH, Alonso JM, Jeanguyot E, Salcinovic B, Johnson A, et al. Injury characteristics in male youth athletics: a five-season prospective study in a full-time sports academy. *Br J Sports Med*. septiembre de 2021;55(17):954-60.
3. Martin JA, Stiffler-Joachim MR, Wille CM, Heiderscheidt BC. A hierarchical clustering approach for examining potential risk factors for bone stress injury in runners. *J Biomech*. agosto de 2022;141:111136.
4. da Rocha Lemos Costa TM, Borba VZC, Correa RGP, Moreira CA. Stress fractures. *Arch Endocrinol Metab*. 11 de noviembre de 2022;66(5):765-73.
5. Hadjispyrou S, Hadjimichael AC, Kaspiris A, Leptos P, Georgoulis JD. Treatment and Rehabilitation Approaches for Stress Fractures in Long-Distance Runners: A Literature Review. *Cureus*. noviembre de 2023;15(11):e49397.
6. Wilzman A, Tenforde A, Troy K, et al. Medical and Biomechanical Risk Factors for Incident Bone Stress Injury in Collegiate Runners: Can Plantar Pressure Predict Injury? *Orthopaedic Journal of Sports Medicine*. 2022;10(6).
7. Wright AA, Taylor JB, Ford KR, Siska L, Smoliga JM. Risk factors associated with lower extremity stress fractures in runners: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med*. 1 de diciembre de 2015;49(23):1517-23.
8. Yeager KK, Agostini R, Nattiv A, Drinkwater B. The female athlete triad: disordered eating, amenorrhea, osteoporosis. *Med Sci Sports Exerc*. julio de 1993;25(7):775-7.
9. Mountjoy M, Ackerman KE, Bailey DM, Burke LM, Constantini N, Hackney AC, et al. 2023 International Olympic Committee's (IOC) consensus statement on Relative Energy Deficiency in Sport (REDs). *Br J Sports Med*. 1 de septiembre de 2023;57(17):1073-98.
10. Fredericson M, Roche M, Barrack MT, Tenforde A, Sainani K, Kraus E, et al. Healthy Runner Project: a 7-year, multisite nutrition education intervention to reduce bone stress injury incidence in collegiate distance runners. *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2023;9(2):e001545.
11. Kerksick CM, Kulovitz M. Chapter 36 - Requirements of Energy, Carbohydrates, Proteins and Fats for Athletes. En: Bagchi D, Nair S, Sen CK, editores. *Nutrition and Enhanced Sports Performance* [Internet]. San Diego: Academic Press; 2013 [citado 7 de abril de 2024]. p. 355-66. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123964540000369>
12. Bosch A, Smit KM. Nutrition for Endurance and Ultra-Endurance Training. En: Lanham-New SA, Stear SJ, Shirreffs SM, Collins AL, editores. *Sport and Exercise Nutrition* [Internet]. 1.ª ed. Wiley; 2011 [citado 7 de abril de 2024]. p. 158-72. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/9781444344905.ch13>
13. Williamson E. Nutritional implications for ultra-endurance walking and running events. *Extrem Physiol Med*. 21 de noviembre de 2016;5(1):13.

14. Miluska.Jara. Objetivos y metas de desarrollo sostenible [Internet]. Desarrollo Sostenible. [citado 28 de abril de 2024]. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
15. Martínez Díaz JD, Ortega Chacón V, Muñoz Ronda FJ. El diseño de preguntas clínicas en la práctica basada en la evidencia: modelos de formulación. *Enfermería Global*. julio de 2016;15(43):431-8.
16. Guest NS, Barr SI. Cognitive dietary restraint is associated with stress fractures in women runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. abril de 2005;15(2):147-59.
17. Kelsey JL, Bachrach LK, Procter-Gray E, Nieves J, Greendale GA, Sowers M, et al. Risk factors for stress fracture among young female cross-country runners. *Med Sci Sports Exerc*. septiembre de 2007;39(9):1457-63.
18. Nieves JW, Melsop K, Curtis M, Kelsey JL, Bachrach LK, Greendale G, et al. Nutritional Factors That Influence Change in Bone Density and Stress Fracture Risk Among Young Female Cross-Country Runners. *PM&R*. 1 de agosto de 2010;2(8):740-50.
19. Wentz L, Liu PY, Ilich JZ, Haymes EM. Dietary and training predictors of stress fractures in female runners. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. octubre de 2012;22(5):374-82.
20. Wentz LM, Liu PY, Ilich JZ, Haymes EM. Female Distance Runners Training In Southeastern United States Have Adequate Vitamin D Status. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*. octubre de 2016;26(5):397-403.
21. Barrack MT, Fredericson M, Tenforde AS, Nattiv A. Evidence of a cumulative effect for risk factors predicting low bone mass among male adolescent athletes. *Br J Sports Med*. febrero de 2017;51(3):200-5.
22. Johnston TE, Close J, Jamora P, Wainwright SF. Perceptions of risk for stress fractures: A qualitative study of female runners with and without stress fracture histories. *Phys Ther Sport*. mayo de 2020;43:143-50.
23. Griffin KL, Knight KB, Bass MA, Valliant MW. Predisposing Risk Factors for Stress Fractures in Collegiate Cross-Country Runners. *J Strength Cond Res*. 1 de enero de 2021;35(1):227-32.
24. Johnston TE, Jakavick AE, Mancuso CA, McGee KC, Wei L, Wright ML, et al. Risk Factors for Stress Fractures in Female Runners: Results of a Survey. *Int J Sports Phys Ther*. 2 de febrero de 2021;16(1):72-86.
25. de Sousa MV, Pereira RMR, Fukui R, Caparbo VF, da Silva MER. Carbohydrate beverages attenuate bone resorption markers in elite runners. *Metabolism*. diciembre de 2014;63(12):1536-41.
26. Barrack M, Fredericson M, Dizon F, Tenforde A, Kim B, Kraus E, et al. Dietary Supplement Use According to Sex and Triad Risk Factors in Collegiate Endurance Runners. *J Strength Cond Res*. 1 de febrero de 2021;35(2):404-10.
27. Barrack MT, Sassone J, Dizon F, Wu AC, DeLuca S, Ackerman KE, et al. Dietary Supplement Intake and Factors Associated with Increased Use in Preadolescent Endurance Runners. *J Acad Nutr Diet*. marzo de 2022;122(3):573-82.