Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte - 2019. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

Nieves Palacios Gil de Antuñano, Pedro Manonelles Marqueta (coordinadores),
Raquel Blasco Redondo, Carlos Contreras Fernández,
Luis Franco Bonafonte, Teresa Gaztañaga Aurrekoetxea,
Begoña Manuz González, Carlos de Teresa Galván, Miguel del Valle Soto.
Grupo de Trabajo sobre Nutrición en el Deporte de la Federación Española
de Medicina del Deporte. Antoni García Gabarra,
José Antonio Villegas García.

Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte - 2019. Documento de consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte

Palabras clave:
Suplemento nutricional. Ayuda ergogénica. Bebida deportiva. Proteínas. Minerales. Vitaminas. Ácidos grasos. Creatina. β-hidroxi-β-metil-butirato. Carnitina. Aminoácidos. Aminoácidos ramificados. β-alanina. Taurina. Glutamina. Arginina. Ácido aspártico. Leucina. Colina. Glicina. Inosina. Cafeína. Guaraná. Té verde. Antioxidantes. Coenzima Q10. Carotenoides. Ácido lipoico. Resveratrol. Quercetina. Catequinas. Antocianósidos. Ácido elágico. Isoflavonas. N-acetil L-cisteína. Espirulina. Curcumina. Inmunomoduladores. Probiótico. Prebiótico. Eleuterococo. Ginseng. Equinácea. Uña de gato. Bicarbonato. Citrato. Glicerol. Cannabidiol. Melatonina. Leptina. Sulfato de condroitina. Sulfato de glucosamina. Ácido hialurónico. Bromelina. Nitratos. Lecitina. Jalea real.

Resumen

En el año 2012 se publicó el consenso "Ayudas ergogénicas nutricionales para las personas que realizan ejercicio físico" que ha servido durante estos años como referente en la materia para muchos profesionales de la materia.
La modificación de normativas y la aparición de nuevas evidencias han aconsejado efectuar un nuevo documento, en esta ocasión "Suplementos nutricionales para el deportista. Ayudas ergogénicas en el deporte" que supone una puesta al día rigurosa sobre la evidencia existente, sobre la legislación actual en el contexto europeo y sobre las expectativas de futuro.
El documento describe en profundidad los suplementos que se utilizan en la actualidad agrupándolos en hidratos de carbono, bebidas especialmente diseñadas para el deportista, Proteínas como ayuda ergogénica en el deporte, minerales, vitaminas, ácidos grasos y otros componentes (creatina, β-hidroxi-β-metil-butirato, carnitina, mezclas de aminoácidos ramificados, otros aminoácidos y sustancias nitrogenadas, cafeína, guaraná y té verde, antioxidantes, inmunomoduladores, bicarbonatos y citratos, ginseng, glicerol, cannabidiol, melatonina, leptina, sulfato de condroitina, sulfato de glucosamina, ácido hialurónico, bromelina, nitratos y otras ayudas ergogénicas.
Se presentan las evidencias de consenso actuales y un novedoso diagrama de decisión en relación con la utilización de suplementos nutricionales en el deporte para terminar efectuando importantes recomendaciones para el deportista que se entrena y compite y se incorporan las recomendaciones sobre el uso de suplementos nutricionales y de ayudas ergogénicas para prevenir el dopaje accidental.
Este documento constituye una verdadera puesta al día en los suplementos nutricionales que se utilizan actualmente y sirve como rigurosa guía de utilización para los profesionales que trabajan en el deporte y en la actividad física.

Nutritional supplements for athletes. Ergogenic aids in sport – 2019. Consensus document of the Spanish Society of Sports Medicine

Key words:
Nutritional supplement. Ergogenic aid. Sports drink. Proteins. Minerals. Vitamins. Fatty acids. Creatine. β-hydroxy-β-methyl-butyrate. Carnitine. Amino acids. Branched amino acids. β-alanine. Taurine. Glutamine. Arginine. Aspartic acid. Leucine. Choline. Glycine. Inosine. Caffeine. Guarana. Green tea. Antioxidants. Coenzyme Q10. Carotenoids. Lipoic acid. Resveratrol. Quercetin. Catechins. Anthocyanosides. Ellagic acid. Isoflavones. N-acetyl L-cysteine. Spirulina. Curcumin. Immunomodulators. Probiotic. Prebiotic. Eleutherococcus. Ginseng. Echinacea. Cat's claw. Bicarbonate. Citrate. Glycerol. Cannabidiol. Melatonin. Leptin. Chondroitin sulfate. Glucosamine sulfate. Hyaluronic acid. Bromelain. Nitrates. Lecithin. Royal jelly.

Summary

In 2012 the consensus "Nutritional ergogenic aids for physical exercise practitioners" was published, which has served during these years as a reference in the field for many professionals of the field.
The modification of regulations and the appearance of new evidence have made it advisable to produce a new document, this time "Nutritional supplements for athletes. Ergogenic aids in sport" which means a rigorous update on the existing evidence, on the current legislation in the European context and on the expectations for the future.
The document deeply describes the supplements that are currently used by grouping them into carbohydrates, drinks specially designed for athletes, proteins as an ergogenic aid in sport, minerals, vitamins, fatty acids and other components (creatine, β-hydroxy-β-methyl-butyrate, carnitine), mixtures of branched amino acids, other amino acids and nitrogenous substances, caffeine, guarana and green tea, antioxidants, immunomodulators, bicarbonates and citrates, ginseng, glycerol, cannabidiol, melatonin, leptin, chondroitin sulphate, glucosamine sulphate, hyaluronic acid, bromelain, nitrates and other ergogenic aids.
It is presented the evidence of current consensus and a novel decision diagram regarding the use of nutritional supplements in sport to end up making important recommendations for the athlete who trains and competes and incorporates recommendations on the use of nutritional supplements and ergogenic aids to prevent accidental doping.
This document is an update on the nutritional supplements currently in use and serves as a rigorous user guide for professionals working in sport and physical activity.

Correspondencia: Pedro Manonelles
E-mail: pmanonelles@femede.es

Índice

1. Introducción 12
2. Objetivos. Niveles de evidencia científica, utilidad o eficacia de los procedimientos y tratamientos recomendados 12
   2.1. Niveles de evidencia científica, utilidad o eficacia de los procedimientos y tratamientos recomendados 12
   2.2. Grados de evidencia 12
3. Concepto de ayuda ergogénica 13
4. Legislación de los alimentos para deportistas 14
   4.1. Antecedentes: Directiva 89/398/CEE e Informe del Comité Científico de Alimentación Humana 14
   4.2. Informes de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) sobre declaraciones de salud 15
   4.3. Postura final de la Comisión Europea 15
   4.4. Cómo se vislumbra el futuro 15
5. Clasificación de los suplementos nutricionales 15
6. Hidratos de carbono y ejercicio físico 17
   6.1. Hidratos de carbono en la dieta habitual del deportista 17
   6.2. Hidratos de carbono días antes de la competición. Carga de hidratos de carbono 17
   6.3. Ingestión de hidratos de carbono 1 hora antes del ejercicio 17
   6.4. Ingestión de hidratos de carbono durante el esfuerzo 18
      6.4.1. Entrenamiento/competiciones de larga duración 18
      6.4.2. Entrenamiento/competiciones de elevada intensidad y corta duración 18
      6.4.3. El contenido de hidratos de carbono en la bebida de reposición 18
   6.5. Hidratos de carbono tras el entrenamiento o la competición 18
   6.6. Efectos prácticos: composición y características de los diferentes productos (sólidos y líquidos) 19
      6.6.1. Bebidas para deportistas 19
      6.6.2. Bebidas energéticas 19
      6.6.3. Gelatinas o geles para deportistas 19
      6.6.4. Barritas para deportistas 20
      6.6.5. Concentrados de hidratos de carbono en polvo 20
7. Bebidas especialmente diseñadas para el deportista. Soluciones con hidratos de carbono y electrolitos 20
8. Proteínas como ayuda ergogénica en el deporte 22
   8.1. Tipos de proteínas alimentarias 22
   8.2. Ingesta recomendada de proteínas en deportistas 23
   8.3. Importancia del momento y de la frecuencia de la ingestión de proteínas 24
   8.4. Seguridad de la suplementación proteica 24
   8.5. Suplementación proteica y composición corporal 24
   8.6. Suplementos proteicos y fuerza muscular 25
   8.7. Suplementos proteicos y ejercicio de resistencia 25
   8.8. Puntos clave 25
9. Otros nutrientes esenciales 25
   9.1. Minerales 25
      9.1.1. Potasio 26
      9.1.2. Sodio 26
      9.1.3. Magnesio 26
      9.1.4. Calcio 27
      9.1.5. Fósforo 27
      9.1.6. Hierro 28
      9.1.7. Zinc 29
      9.1.8. Selenio 29
      9.1.9. Manganeso 29
      9.1.10. Cromo 30
      9.1.11. Cobre 30

9.1.12. Yodo 30
9.1.13. Boro 30
9.2. Vitaminas 31
9.2.1. Vitaminas hidrosolubles 31
9.2.1.1. Tiamina o vitamina B1 31
9.2.1.2. Riboflavina o vitamina B2 31
9.2.1.3. Piridoxina o vitamina B6 31
9.2.1.4. Cianocobalamina o vitamina B12 32
9.2.1.5. Ácido fólico o vitamina B9 32
9.2.1.6. Niacina, ácido nicotínico o vitamina B3 32
9.2.1.7. Biotina, vitamina B7 o vitamina H 32
9.2.1.8. Ácido pantoténico o vitamina B5 32
9.2.1.9. Vitamina C o ácido ascórbico 32
9.2.2. Vitaminas liposolubles 33
9.2.2.1. Vitamina A o retinol 33
9.2.2.2. Vitamina E o α-tocoferol 33
9.2.2.3. Vitamina D o calciferol 33
9.2.2.4. Vitamina K 33
9.3. Ácidos grasos 33
9.3.1. Clasificación de los ácidos grasos 34
9.3.2. Ácidos grasos insaturados y deporte 34
9.3.2.1. Ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y rendimiento deportivo 34
9.3.2.2. Ácidos grasos poliinsaturados omega-6 y rendimiento deportivo 35
9.3.2.3. Ácidos grasos monoinsaturados y rendimiento deportivo 36
10. Otros componentes 36
10.1. Creatina 36
10.1.1. Eficacia 36
10.1.2. Protocolos de suplementación 37
10.1.2.1 Protocolo de carga rápida 37
10.1.2.2. Protocolo de carga lenta 37
10.2. β-hidroxi-β-metil-butirato 37
10.2.1. Mecanismo de acción propuesto 38
10.2.2. Protocolos de uso 38
10.2.3. Efectos secundarios 38
10.3. Carnitina 38
10.4. Mezclas de aminoácidos ramificados 39
10.5. Otros aminoácidos y sustancias nitrogenadas 40
10.5.1. β-alanina 40
10.5.2. Taurina 40
10.5.3. Glutamina 41
10.5.4. Arginina 41
10.5.5. Ácido aspártico 42
10.5.6. Leucina 42
10.5.7. Colina 42
10.5.8. Glicina 42
10.5.9. Inosina 42
10.6. Cafeína, guaraná y té verde 43
10.6.1. Cafeína 43
10.6.1.1. Eficacia ergogénica 43
10.6.1.2. Mejora del rendimiento en el ejercicio aeróbico 43
10.6.1.3. Mejora del rendimiento en el ejercicio anaeróbico 43
10.6.1.4. Mejora del rendimiento en deportes de equipo 43
10.6.1.5. Protocolos, dosis y forma de administración 44

10.6.1.6. Contenidos de cafeína en productos 44
10.6.1.7. Consideraciones 44
10.6.2. Guaraná 44
10.6.3. Té verde 44
10.7. Antioxidantes 44
10.7.1. Coenzima Q10 45
10.7.2. Carotenoides 45
10.7.3. Ácido lipoico 45
10.7.4. Resveratrol 45
10.7.5. Quercetina 46
10.7.6. Catequinas 46
10.7.7. Antocianósidos 46
10.7.8. Ácido elágico 46
10.7.9. Isoflavonas 47
10.7.10. N-acetil L-cisteína 47
10.7.11. Espirulina 47
10.7.12. Curcumina 47
10.8. Inmunomoduladores 47
10.8.1. Probióticos y prebióticos 47
10.8.1.1. Ejercicio y microbiota intestinal 47
10.8.1.2. Concepto de probiótico, prebiótico y simbiótico 48
10.8.2. Eleuterococo (ginseng siberiano o *Eleutherococcus senticosus*) 48
10.8.3. Equinácea 49
10.8.4. Uña de gato 49
10.9. Bicarbonatos y citratos 49
10.10. Ginseng 49
10.11. Glicerol 50
10.12. Cannabidiol 50
10.13. Melatonina 50
10.13.1. Efectos de la melatonina sobre el rendimiento deportivo 51
10.14. Leptina. 51
10.15. Sulfato de condroitina, sulfato de glucosamina, ácido hialurónico, bromelina 52
10.15.1. Sulfato de condroitina 52
10.15.2. Sulfato de glucosamina 52
10.15.3. Ácido hialurónico 53
10.15.4. Bromelina 53
10.16. Nitratos 54
10.16.1. Mecanismo de acción 54
10.16.2. Protocolos de uso y tiempo de utilización 54
10.16.3. Impacto en el rendimiento deportivo 54
10.16.4. Seguridad 54
10.16.5. Efectos secundarios 54
10.17. Otras ayudas ergogénicas 55
10.17.1. Lecitina 55
10.17.2. Jalea real 55
11. Evidencias de consenso 55
12. Diagrama de decisión 64
13. Recomendaciones para el deportista que se entrena y compite 65
14. Recomendaciones sobre el uso de suplementos nutricionales y de ayudas ergogénicas para prevenir el dopaje 67
15. Abreviaturas, siglas y símbolos 68
16. Bibliografía 68
Relación de autores 83

1. Introducción

La alimentación y la hidratación del deportista influyen de una manera fundamental tanto en su salud como en su rendimiento deportivo. La buena elección de los alimentos es un factor que, junto con otros (talento, entrenamiento, motivación, ausencia de lesiones...), contribuye a que quien realiza ejercicio físico pueda desplegar todo su potencial y culminar el éxito esperado.

Para un deportista es fundamental poder realizar entrenamientos intensos y competiciones frecuentes sin caer en fatiga crónica, lesión o enfermedad. Además del tipo de alimento, es importante consumir las cantidades adecuadas de energía, nutrientes y agua, con la regularidad correcta y con la adaptación apropiada a los horarios de los entrenamientos y de las competiciones.

Hay veces en que todas estas recomendaciones no son suficientes y el deportista recurre a la toma de suplementos en un intento de mejorar su rendimiento deportivo.

Existe un gran número de personas que realizan ejercicio físico, tanto intenso como recreativo, que utilizan suplementos, compitan o no. Muchos no conocen exactamente la función ni el contenido de lo que están tomando, y no son supervisados por profesionales de la salud cualificados[1].

Algunos de estos productos están avalados por la evidencia científica como eficaces y seguros; para otros, la evidencia científica demuestra que son claramente ineficaces o incluso perjudiciales, y en ocasiones no existen estudios o si los hay no son concluyentes[2].

Los suplementos nutricionales para personas que hacen deporte van destinados a un grupo específico de población que puede llegar a tener unas necesidades nutricionales diferentes dependiendo de numerosos factores (intensidad y duración del ejercicio, disciplina deportiva, momento de la temporada, edad, forma física de la que se parte, ambiente externo, etc.). Su finalidad es contribuir a cubrir los requerimientos nutricionales específicos de estas personas, tanto para mantener un buen estado de salud como para mejorar y maximizar su rendimiento deportivo. Esta meta puede alcanzarse mediante productos que ayuden a satisfacer las necesidades incrementadas de energía y nutrientes, suministren los fluidos y los elementos perdidos durante la actividad física, y faciliten la consecución de una adecuada hidratación y una recuperación óptima tras el ejercicio[3].

Estos productos deben ser de máxima seguridad y calidad, y por supuesto, exentos de cualquier sustancia prohibida en la práctica deportiva.

La nutrición deportiva es una ciencia en constante evolución, con cientos de investigaciones publicadas cada año. Por esta razón, mantenerse al día puede resultar difícil. Existen numerosas evidencias científicas que avalan la conveniencia, la seguridad y la efectividad del uso de algunos suplementos para deportistas. Por otra parte, también hay evidencia de casos contrarios.

2. Objetivos. Niveles de evidencia científica, utilidad o eficacia de los procedimientos y tratamientos recomendados

Los documentos de consenso de expertos tienen como objetivo examinar con atención las ventajas y los inconvenientes de un tema concreto, y presentar todas sus evidencias relevantes para ayudar a sopesar sus beneficios y riesgos, con la finalidad de ayudar en la toma diaria de decisiones.

El presente documento de consenso revisa y analiza diversas ayudas ergogénicas utilizadas por las personas que realizan ejercicio físico o deporte, con los siguientes objetivos:

- Definir y aclarar qué es un suplemento nutricional para el deportista (ayuda ergogénica).
- Documentar el estado actual de la legislación sobre alimentos y para deportistas.
- Evaluar los datos científicos que avalan la eficacia, las ventajas o los inconvenientes de las ayudas ergogénicas más utilizadas.
- Facilitar al profesional en este campo su trabajo y aportarle los conocimientos adecuados para diseñar diferentes pautas nutricionales para mejorar la salud y el rendimiento de los deportistas que están a su cargo.

2.1. Niveles de evidencia científica, utilidad o eficacia de los procedimientos y tratamientos recomendados

Para evaluar la eficacia del uso de un suplemento nutricional específico como ayuda ergogénica se ha prestado especial atención a los siguientes datos de los estudios analizados:

- Población en la que se realiza el estudio. Las investigaciones que demuestran un aumento del rendimiento en deportistas, o en personas que hacen ejercicio físico con regularidad, son más relevantes y prácticas que las que demuestran lo mismo en personas sedentarias o con ciertas patologías crónicas.
- Tipo de control de la investigación. Son más relevantes los estudios aleatorizados y a doble ciego, comparando una ayuda ergogénica con una sustancia placebo, y aquellos cuyo diseño es cruzado.
- Significación estadística del estudio. Los trabajos que demuestran una tendencia estadística pueden ser interesantes para continuar una línea de estudio concreta, pero los resultados estadísticamente significativos son mucho más convincentes y válidos.
- Repetición de los mismos resultados en diferentes estudios publicados por distintos grupos de trabajo.

El sistema escogido para clasificar la evidencia y formular recomendaciones es el propuesto por la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED-FEMEDE), basado en las Guías de práctica clínica sobre el manejo (diagnóstico y tratamiento) del síncope[4].

2.2. Grados de evidencia

- Grado A: datos procedentes de numerosos ensayos clínicos aleatorizados, metaanálisis o revisiones sistemáticas.
- Grado B: datos procedentes de un único ensayo clínico aleatorizado o de grandes estudios no aleatorizados (estudios de cohortes).
- Grado C: consenso de opinión de expertos o pequeños estudios.

Se proponen clases de recomendaciones realizadas según el acuerdo general del beneficio del tratamiento (Figura 1).

El mejor escenario para la evaluación de los efectos de los suplementos en el rendimiento deportivo es el ensayo científico prospectivo y controlado, en el que los sujetos se asignan aleatoriamente para recibir

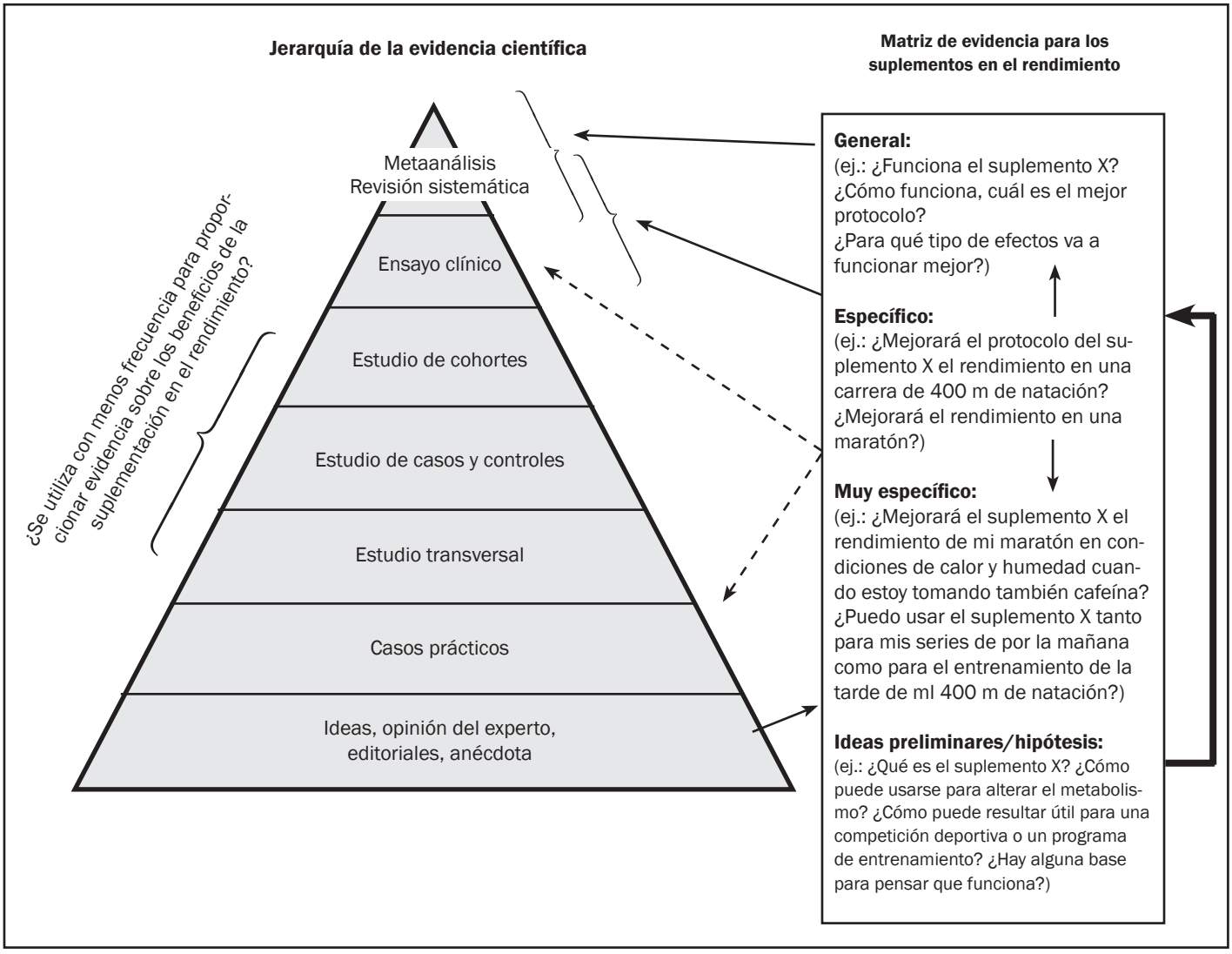


Figura 1. Jerarquía de la evidencia científica.

un tratamiento experimental o un placebo (idealmente de forma doble ciego), o cruzado para recibir ambos tratamientos en orden equilibrado, bajo condiciones estandarizadas. No obstante, dadas la especificidad y las condiciones individuales para evaluar la efectividad de un suplemento, no es razonable esperar que siempre exista evidencia definitiva disponible[5].

3. Concepto de ayuda ergogénica

La historia de la humanidad es la historia del movimiento del hombre con el fin de realizar las diferentes tareas necesarias para su supervivencia, pero también es la historia de cómo aumentar el rendimiento físico para hacerlo mayor y mejor.

La palabra "ergogenia" proviene del griego ergos, qué significa "trabajo", y genan, que significa "generar". Se considera como ayuda ergogénica "cualquier maniobra o método (nutricional, físico, mecánico, psicológico o farmacológico) realizado con el fin de aumentar la capacidad para desempeñar un trabajo físico y mejorar el rendimiento"[6].

Día a día se observa un incremento del nivel de exigencia de las personas que realizan actividad física intensa. Los entrenamientos se individualizan según las características del deportista, con lo que su técnica se optimiza. Esto hace que la diferencia entre el ganador y el que queda segundo o tercero sea cada vez menor. La atención y el cuidado de todos los detalles, por nimios que parezcan, puede representar la diferencia fundamental para conseguir el objetivo prioritario de un deportista que compite: mejorar la marca, ampliar la ventaja con el contrincante y ganar. En este contexto, además de una buena alimentación, que resulta primordial para adaptarse a los entrenamientos y rendir más en ellos, las ayudas ergogénicas nutricionales destinadas a los deportistas están cobrando cada vez mayor protagonismo. Son

muchos los productos que hay en el mercado y además su número crece de forma vertiginosa.

Se define suplemento nutricional como "un alimento, componente de alimento, nutriente, o compuesto no alimento que es ingerido intencionadamente, además de la dieta consumida habitualmente, con el objetivo de lograr un beneficio específico para la salud y/o el rendimiento"[5].

Según la Food and Drug Administration (FDA) estadounidense, los suplementos de la dieta se definen como cualquier "producto para consumo que contiene un 'ingrediente dietético' cuyo objetivo es añadir un valor nutricional mayor para (suplementar) la dieta"[7].

Un "ingrediente dietético" puede ser uno, o cualquier combinación, de las siguientes sustancias (en comprimidos, cápsulas, geles blandos, cápsulas blandas, líquido o polvo): vitaminas, minerales, sustancias herbáceas u otras similares, aminoácidos (AA), sustancias para suplementar la dieta mediante el aumento de la ingesta total, y concentrados, metabolitos, constituyentes o extractos[7].

La Directiva 2002/46/CE define como complemento alimenticio todo "producto que pretende complementar una dieta normal, consistentes en fuentes concentradas de nutrientes o de otras sustancias que tengan un efecto nutricional o fisiológico, en forma simple o combinada, comercializados en formas dosificadas, es decir, cápsulas, pastillas, tabletas, píldoras y otras formas similares, bolsitas de polvos, ampollas de líquido, botellas con cuentagotas y otras formas similares de líquidos y polvos que deben tomarse en pequeñas cantidades unitarias"[8].

Los suplementos nutricionales que no cumplen con algunos requisitos de los complementos alimenticios (especialmente en cuanto a las citadas formas de presentación y a su ingestión diaria en pequeña cantidad) no son complementos alimenticios sino "alimentos naturalmente ricos" o "alimentos enriquecidos". Los segundos, si bien no tienen una definición legal, vienen regulados por el Reglamento (CE) 1925/2006 sobre adición de vitaminas, minerales y otras sustancias determinadas a los alimentos.

Por tanto, los suplementos nutricionales pueden presentarse en forma de "complementos alimenticios", de alimentos "naturalmente ricos" en algunos nutrientes u otras sustancias, o de "alimentos enriquecidos" en ellos.

Por último, según el Documento de Consenso de la Sociedad Española de Medicina del Deporte (SEMED/FEMEDE), se define como ayuda ergogénica cualquier maniobra o método (nutricional, físico, mecánico, psicológico o farmacológico) realizado con el fin de aumentar la capacidad para desempeñar un trabajo físico y mejorar el rendimiento[9].

El momento y la finalidad del uso de los suplementos nutricionales pueden variar ampliamente según las características específicas de cada deporte y la situación concreta del deportista.

La mayoría de las personas que toman este tipo de productos buscan aumentar su rendimiento deportivo; lo que nunca piensan es que, si consumen un producto inadecuado, a dosis incorrectas o de origen dudoso, no solo no mejorará su trabajo físico, sino que puede ser peligroso y tener consecuencias negativas tanto para el rendimiento (disminución) como para la salud (alteración de la función de algún órgano o sistema), y también podría dar un resultado positivo en los controles de dopaje[10].

La prevalencia del uso de suplementos por los deportistas varía en función del deporte o la actividad practicados, aumenta con el nivel de entrenamiento o rendimiento y la edad, es mayor en los hombres y se encuentra influenciado por las normas culturales percibidas. Así mismo, aunque a menudo se consumen con el objetivo de aprovechar sus efectos o beneficios, hay una serie de motivos que subyacen en su empleo, tales como corregir o prevenir deficiencias de nutrientes, aportar energía y nutrientes en una sesión de ejercicio, lograr beneficios en el rendimiento, obtener ganancias financieras (patrocinio) o porque los productos se proporcionan sin cargo, entre otros.

4. Legislación de los alimentos para deportistas

4.1. Antecedentes: Directiva 89/398/CEE e Informe del Comité Científico de Alimentación Humana

En el año 1989, la Directiva 89/398/CEE[11], en su artículo 1, epígrafe 2.a), incluía esta definición: "Los productos alimenticios destinados a una alimentación especial son productos alimenticios que, por su composición particular o por el particular proceso de su fabricación, se distinguen claramente de los productos alimenticios de consumo corriente, que son apropiados para el objetivo nutritivo indicado y que se comercializan indicando que responden a dicho objetivo". El epígrafe 2.b.ii) establecía lo siguiente: "Una alimentación especial debe satisfacer las necesidades nutritivas particulares de determinadas clases de personas que se encuentran en condiciones fisiológicas particulares y que, por ello, obtienen beneficios especiales de una ingestión controlada de determinadas sustancias de los alimentos". Dentro del Anexo I del artículo 4.1 se encontraban los alimentos adaptados a un intenso desgaste muscular, sobre todo para los deportistas.

Para cumplir con lo establecido en esta Directiva, la Comisión Europea solicitó al Scientific Committe on Food (SCF) un informe sobre la composición y las especificaciones de los alimentos destinados a compensar el desgaste de esfuerzos musculares intensos, en especial para deportistas[12].

El SCF, en junio del año 2000, estableció cuatro categorías de productos:

- Alimentos y bebidas ricos en hidratos de carbono (HC):
  - HC con índice glucémico elevado: ≥75% de la energía.
  - Adición opcional de vitamina B1: ≥0,05 mg/100 kcal de HC.
  - Bebidas, HC: ≥10 g/100 ml (≥40 kcal/100 ml).
- Soluciones de HC y electrolitos:
  - Energía: 8-35 kcal/100 ml.
  - HC con índice glucémico elevado: ≥75% de la energía.
  - Sodio: 46-115 mg/100 ml.
  - Osmolalidad: 200-330 mOsm/kg agua (isotónicas: 270-330).
- Alimentos y bebidas ricos en proteínas:
  - Utilización proteica neta: ≥70%.
  - Adición opcional de vitamina B6: ≥0,02 mg/g proteínas.
  - Concentrados proteicos, proteínas: ≥70% de la materia seca.
  - Alimentos enriquecidos en proteínas, proteínas: ≥25% de la energía.
- Suplementos, informe favorable sobre:
  - Cafeína.
  - Creatina.

La Comisión Europea intentó regular los alimentos para deportistas basándose en este informe. A pesar de que la mayoría de los Estados miembros —entre ellos España— estaban a favor de una regulación específica de los alimentos para deportistas, la Comisión manifestó, a partir de 2008, que esta no sería una solución óptima, y empezó a vislumbrar la posibilidad de regular estos productos solo a través de las declaraciones de propiedades saludables autorizadas, lo que dejaría a la mayoría de los alimentos para deportistas sin una regulación específica.

4.2. Informes de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) sobre declaraciones de salud

En aplicación del Reglamento (CE) 1924/2006 sobre declaraciones nutricionales y de propiedades saludables[13], la EFSA emitió diversos dictámenes favorables sobre declaraciones de propiedades saludables para alimentos utilizados en situaciones de esfuerzo físico intenso.

Algunas de estas declaraciones evaluadas favorablemente por la EFSA recibieron el apoyo de la Comisión Europea y de los Estados miembros y fueron incorporadas en el Anexo del Reglamento de la Unión Europea (UE) 432/2012 por el que se establece una lista de declaraciones autorizadas de propiedades saludables, con sus correspondientes condiciones de uso[14]. Son las siguientes:

- La creatina mejora el rendimiento físico en series sucesivas de ejercicios breves de alta intensidad[15].
- El consumo diario de creatina puede reforzar el efecto del entrenamiento de resistencia en la fuerza muscular en adultos mayores de 55 años[16].
- Las soluciones electrolíticas a base de HC contribuyen a mantener el nivel de resistencia en ejercicios que requieren una resistencia prolongada, y mejoran la absorción de agua durante el ejercicio físico[17].
- La vitamina C contribuye al normal funcionamiento del sistema inmunitario durante el ejercicio físico intenso y después de este[18].
- Los HC contribuyen a la recuperación de la función muscular normal (contracción) después de un ejercicio físico de gran intensidad o de larga duración que conduce a la fatiga muscular y al agotamiento del glucógeno almacenado en los músculos esqueléticos[19].

Además de estas declaraciones de propiedades saludables en alimentos para deportistas que han sido autorizadas por la legislación comunitaria, existen algunas otras que han sido rechazadas por la UE por entender que son mensajes contradictorios con las recomendaciones de salud dirigidas a la población general, a pesar de contar con un informe favorable de la EFSA:

- Relativas a la glucosa, sobre el metabolismo energético, la actividad física y el funcionamiento de los músculos.
- Relativa al sodio, necesario para el funcionamiento de los músculos.

Adicionalmente, existen otras sustancias y alimentos que, a pesar de contar con un informe favorable de la EFSA, están todavía pendientes de autorización, al haber sido objeto de controversias en la UE:

- La cafeína, en cuanto a su capacidad de aumentar el rendimiento físico y la resistencia[20]; y ello a pesar de contar también con un informe favorable de la EFSA sobre su seguridad[21].
- Las soluciones a base de HC contribuyen a la mejora del rendimiento físico durante ejercicios físicos de alta intensidad y duración prolongada en adultos sanos entrenados[22].

4.3. Postura final de la Comisión Europea

La Comisión encargó un amplio estudio externo sobre la situación en la UE de los alimentos consumidos por deportistas. Fueron consultadas autoridades, industria y otras fuentes de información. Siguiendo con lo establecido en el artículo 13 del Reglamento (UE) 609/2013, la Comisión solicitó a la EFSA un informe de asesoramiento científico y técnico sobre los alimentos para deportistas.

El informe de la Comisión[23] finaliza así:

"A partir de este análisis, puede concluirse que no hay necesidad de disposiciones específicas para los alimentos para deportistas. Sin embargo, los alimentos para deportistas pueden incluir algún elemento de especificidad, y el análisis del presente informe muestra que es posible que la Comisión deba considerarlo a la hora de aplicar e implementar las normas horizontales a fin de que tales especificidades puedan abordarse de manera adecuada. La Comisión garantizará la correcta aplicación de la legislación horizontal y realizará un seguimiento de su evolución después del 20 de julio de 2016".

Las empresas del sector alimentario han planteado la cuestión del uso de sustancias dopantes. Sin embargo, esta cuestión no es relevante para la legislación alimentaria europea y debe abordarse a partir de normas internacionales y voluntarias[24].

4.4. Cómo se vislumbra el futuro

El futuro de la regulación de estos productos en la UE sigue siendo incierto. Mientras que España aplica estrictamente el informe de la Comisión Europea y solo exige la notificación de los productos presentados en forma de complementos alimenticios, otros Estados miembros (por ejemplo, Francia, Italia y Alemania) pretenden mantener o tratan de establecer una regulación o una notificación de los alimentos para deportistas.

La Codex Alimentarius Commission (NFSDU/40 CRD/2), a través de su Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses, pretende establecer una Norma Codex sobre requerimientos generales de los suplementos (proteicos en su mayoría) destinados al aumento de la masa muscular. Generalmente, las normas Codex tienen incidencia en la legislación de la UE.

5. Clasificación de los suplementos nutricionales

No existe una clasificación universal y satisfactoria de los suplementos nutricionales, por lo que se manejan varias propuestas.

Por lo general, se han clasificado así[7]:

1. Productos para deportistas: son productos especializados usados para aportar una fuente útil de nutrientes cuando no es práctico consumirlos a través de los alimentos habituales; incluyen geles, barritas, bebidas y proteínas en polvo.
2. Alimentos de uso médico (vitaminas y minerales): se usan para tratar cuestiones clínicas, como deficiencias nutricionales diagnosticadas; incluyen suplementos multivitamínicos-minerales en general, y de forma específica vitamina D y minerales como el hierro y el calcio.
3. Suplementos (ayudas) ergogénicas: Empleados para mejorar el rendimiento; incluyen cafeína, beta-alanina, bicarbonato, nitrato (zumo de remolacha) y creatina.

4. Alimentos funcionales y superalimentos: pretenden optimizar la salud y el rendimiento; engloban productos herbales, algas, espirulina, fibras vegetales, semillas (por ejemplo, chía), frutas alcalinizantes naturales, jugos crudos y bayas (asaí, goji), y extractos.
5. Otros suplementos: abarcan una amplia variedad de extractos vegetales y concentrados; se emplean para la pérdida de peso (batidos/licuados, cápsulas), para incrementar la energía, para aumentar la libido y para prevenir la pérdida de cabello.

Los productos que cumplen la definición de suplemento nutricional pueden tener distintos objetivos dentro del rendimiento del deportista[5]:

- Mantenimiento de una salud óptima mediante la contribución a la ingesta requerida de nutrientes específicos (control de las deficiencias de micronutrientes); incluyen vitamina D, hierro y calcio.
- Aporte de energía y de las necesidades de macronutrientes que pueden ser difíciles de lograr a través de los alimentos solamente; incluyen bebidas de reposición, bebidas energéticas o con cafeína, geles, electrolitos, suplementos proteicos, recovery (HC y proteína), barritas y alimentos ricos en proteína.
- Mejora directa del rendimiento; incluyen cafeína, creatina, nitrato, beta-alanina y bicarbonato sódico.
- Obtención de beneficios indirectos que resulta del aporte de apoyo para el entrenamiento duro, la manipulación de la mente, el alivio del dolor muscular, la rápida recuperación de la lesión y la mejora del estado de ánimo y de la composición corporal; incluyen vitamina D, probióticos, vitamina C, HC en bebida/gel, calostro, polifenoles, zinc, glutamina, cafeína, equinácea, omega-3, vitamina E, betaglucanos, creatina, ácido β-hidroxi-β-metil-butírico (HMB), gelatina y vitamina C/colágeno, curcumina, cereza ácida, aumentadores de masa muscular y suplemento nutricional para la pérdida de masa grasa.

La Tabla 1 muestra los alimentos y las sustancias nutricionales más consumidos por los deportistas.

Tabla 1. Alimentos y sustancias nutricionales más consumidos por los deportistas.

Hidratos de carbono	Proteínas, aminoácidos y otras sustancias nitrogenadas	Lípidos y sustancias relacionadas	Vitaminas	Minerales	Sustancias de origen vegetal	Otras sustancias
Alimentos y bebidas especialmente diseñados para deportistas	Suplementos de proteínas completas	Ácidos grasos Omega 3 Omega 6 Omega 7 Omega 9	Vitamina B12	Hierro	Cafeína/guaraná Bioflavonoides Aceite de onagra Bromelina	
Geles con hidratos de carbono	Aminoácidos ramificados	Ácido linoleico conjugado	Vitamina B6	Magnesio	Valeriana *(Valeriana officinalis)*	Bicarbonato y citrato sódico
	Arginina Citrulina	Lecitina de soja	Ácido fólico	Zinc	Germen de trigo/ octacosanol	Ubiquinona o coenzima Q10
	Glutamina		Vitamina C	Cobre	Alfalfa	Piruvato
	Triptófano		Biotina	Selenio	Ginseng (*Panax* sp.)	
	Ácido aspártico		Niacina			
	Creatina		Riboflavina	Cromo y picolinato de cromo	Crisina (extracto de Flor de la Pasión, *Passiflora caerulea*)	Óxido nítrico
	Taurina		Tiamina	Boro	Abrojo *(Tribulus terrestris)*	Mucopolisacáridos
	β-hidroxi-β-metilbutirato		Ácido pantoténico	Yodo	Zarzaparrilla *(Smila xaspera)*	Sulfato de condroitina
	L-carnitina		Vitamina A	Manganeso	Gamma orinazol/ácido ferúlico	
	N-acetil L-cisteína				Levadura de cerveza	
	Colina		Vitamina D	Potasio	Eleuterococo *(Eleuthero-coccus senticosus)*	Extractos glandulares
	Dimetilglicina		Vitamina E	Sodio	Equinácea (*Echinacea* sp.)	Polen de abeja
	Ácido pangámico		Vitamina K	Calcio	Espirulina (*Spirulina* sp.)	Jalea real
	Inosina/inositol			Fósforo		Agua ¿?
	Melatonina				Cissus cuadrangularis	Cúrcuma
	Colágeno				Todos los antioxidantes (Ginkgo biloba incluido)	

6. Hidratos de carbono y ejercicio físico

Los HC son nutrientes cuya función primordial es la provisión al organismo de energía de forma rápida para mantener una glucemia adecuada y reponer el glucógeno muscular perdido durante la actividad física. Por ello, su utilización es de suma importancia para mejorar la preparación y el rendimiento del deportista en numerosas actividades, por lo que los suplementos que contienen HC son empleados con mucha frecuencia por las personas que realizan ejercicio físico.

El glucógeno muscular y la glucosa circulante son los sustratos más importantes para el músculo en contracción[25]. La fatiga durante el ejercicio prolongado se asocia tanto con el agotamiento del glucógeno en el músculo como con la disminución de la glucemia y la baja ingesta de HC durante el entrenamiento y la competición[26]. Se cree que concentraciones elevadas de glucógeno, tanto hepático como muscular, son esenciales para un rendimiento óptimo, aunque no son los únicos factores que pueden limitar el rendimiento durante el ejercicio.

En este apartado se analizan los conocimientos existentes sobre los productos con HC, su utilidad, su forma de empleo y sus posibles riesgos. Se aborda la reposición de HC durante el entrenamiento y en los tres estadios en relación con el esfuerzo: antes, durante y después.

6.1. Hidratos de carbono en la dieta habitual del deportista

Los HC suelen ser la base de la alimentación de las personas que hacen deporte y entrenan todos los días durante largos periodos de tiempo. La diferencia más importante respecto a la dieta de la población general es que el deportista suele necesitar un aporte calórico más alto, que en su mayor parte es aportado por los HC.

El incremento calórico se efectúa con un aumento del consumo de algunos grupos de alimentos (pan, cereales, pastas, legumbres, leche y derivados, vegetales y frutas) y del número de tomas al día.

6.2. Hidratos de carbono días antes de la competición. Carga de hidratos de carbono

Desde hace tiempo se sabe que ingerir alimento antes del ejercicio presenta numerosos beneficios sobre el rendimiento deportivo, frente a las múltiples inconveniencias que supone realizar ejercicio en ayunas[27]. El deportista mejor preparado para realizar un esfuerzo físico no debe estar hambriento, pero tampoco debe tener una cantidad excesiva de alimento en el estómago[28].

Las recomendaciones sobre la ingestión de alimento previa al ejercicio incluyen:

- Tener una hidratación adecuada.
- Comer alimentos con contenido relativamente bajo en grasas y fibras, para facilitar el vaciado gástrico y disminuir el estrés gastrointestinal.
- Comer alimentos con contenido moderado en proteínas y alto en HC, para mantener la glucemia y maximizar los depósitos de glucógeno.

J. Hawley publicó hace dos décadas una actualización sobre las dietas altas en HC los días previos a una competición como estrategia para mantener el glucógeno muscular elevado y mejorar el rendimiento, sobre todo en los deportes de resistencia[29]. A pesar de los años transcurridos, esta táctica aún permanece vigente. En ella se sugiere que, en los eventos que duran más de 90 minutos, los niveles supercompensados de glucógeno muscular pueden mejorar el rendimiento. Sin embargo, parece que hay poco beneficio cuando la duración del ejercicio es inferior a 90 minutos.

Los deportistas de resistencia bien entrenados pueden lograr la supercompensación de glucógeno sin necesidad de la fase de agotamiento antes de la carga[30]. La cantidad de HC necesaria para recuperar las reservas de glucógeno a diario depende de numerosos factores, entre los que se encuentran la duración y la intensidad del programa de entrenamiento; las cantidades pueden variar entre 5 y 12 g/kg de peso al día, según las características del deportista y su actividad.

Interesa recordar que no siempre una mayor ingesta de HC da como resultado un mejor rendimiento deportivo[31]. Este tipo de dietas muy elevadas en HC suelen ser bajas en grasas, lo que altera los sustratos intramusculares y se puede producir una reducción de la lipólisis y, por lo tanto, de la oxidación de la grasa durante el ejercicio. También hay que tener en cuenta que el almacenamiento de glucógeno muscular se asocia con un aumento de peso como resultado de la retención de agua (aproximadamente 3 g de peso total por gramo de glucógeno almacenado), lo que no es deseable en muchos casos.

Para aumentar las reservas de glucógeno, se recomienda el consumo de 8-10 g de HC/kg al día los 4 días previos a la competición[32].

Antes del ejercicio, la cantidad de HC efectiva para mejorar el rendimiento es de 200-300 g, consumidos en las 3-4 horas previas al esfuerzo. Si esto no es posible, conviene realizar un consumo de pequeñas cantidades de alimento sólido separadas por cortos intervalos de tiempo[33-36], aunque no todos los estudios demuestran una mejora del rendimiento con esta segunda opción[37,38].

6.3. Ingestión de hidratos de carbono 1 hora antes del ejercicio

A pesar de que el consumo de una dieta alta en HC en los días previos a una competición, así como la ingestión 3-4 horas antes del ejercicio, han demostrado ser una estrategia eficaz para mejorar el rendimiento deportivo en las actividades de resistencia[26], hay que tener en consideración que la toma de HC 30-60 minutos antes del ejercicio puede dar como resultado una hiperglucemia con la consecuente hiperinsulinemia reactiva, que a menudo va seguida por una disminución rápida de la glucosa en la sangre, a los 15-30 minutos del inicio del ejercicio[39]. Además, la hiperinsulinemia tras la ingestión de HC inhibe la lipólisis y la oxidación de la grasa, y esto puede conducir a un agotamiento más rápido del glucógeno muscular. Por lo tanto, la ingestión de HC 1 hora antes del entrenamiento o de la competición puede, de forma potencial y teórica, perjudicar el rendimiento[40].

Por otro lado, hay que tener en cuenta la denominada hipoglucemia reactiva o de rebote al inicio del esfuerzo. Este descenso de la glucemia probablemente es el resultado de un aumento de la captación muscular de glucosa, y de una reducción de su producción en el hígado (gluconeogénesis).

Sin embargo, son muy escasos los estudios que han objetivado una capacidad de rendimiento reducida tras la ingestión de HC antes del ejercicio, mientras que la mayoría de los trabajos no evidencian cambios o encuentran una mejora en el rendimiento[30]. La discreta hipoglucemia de rebote que puede producirse en la primera etapa del ejercicio tiene poca importancia funcional, ya que no afecta al rendimiento físico.

Todos estos datos sugieren que no hay necesidad de evitar la ingestión de HC en la hora previa al ejercicio, y que el consejo de no consumirlos carece de fundamento. Aunque algunos deportistas desarrollan síntomas similares a los de una hipoglucemia, no suelen objetivarse bajas concentraciones de glucosa en sangre. Para minimizar estos síntomas es deseable un abordaje individual, que puede incluir la ingestión de HC de absorción gradual antes de iniciar el ejercicio o durante el calentamiento.

6.4. Ingestión de hidratos de carbono durante el esfuerzo

6.4.1. Entrenamiento/competiciones de larga duración

Es ampliamente conocido el beneficio sobre el rendimiento de la utilización de HC (30-60 g/h) en los esfuerzos prolongados, de más de 1 hora de duración[41-43], especialmente si el deportista no ha realizado una sobrecarga previa de HC, no ha comido antes del esfuerzo o realiza dietas hipocalóricas para el control del peso[28].

La oxidación exógena de los HC está limitada por su absorción intestinal. La glucosa utiliza un transportador dependiente de sodio[44]. La absorción intestinal se satura al aportar alrededor de 60 g de glucosa por hora. Sin embargo, cuando se ingiere glucosa a este ritmo y simultáneamente otro HC (fructosa), que utiliza un transportador diferente, las tasas de oxidación son muy superiores a 1 g/min/l, y llegan a alcanzarse hasta 1,26 g/min/l[45], por lo que es preferible la utilización de una combinación de diversos HC con diferentes sistemas de transporte, con el fin de facilitar el vaciamiento gástrico y la absorción de líquidos. Esta estrategia es fundamental durante los ejercicios de más de 2 horas de duración, ya que mantiene constante la entrada de glucosa a los músculos en movimiento.

En general, puede decirse que el uso de distintos HC con diferentes sistemas de transporte mejora su velocidad de oxidación hasta en un 75%, con independencia de que sean administrados en forma líquida, en gel[46,47].

Los transportadores de HC intestinales pueden, de hecho, ser regulados positivamente. Las tasas de oxidación exógena de HC son mayores después de una dieta alta en HC. Esto adquiere especial relevancia para mejorar los tiempos en deportes de resistencia[48]. Podría pensar seque el intestino es "entrenable" y que las personas que consumen regularmente HC en cantidad significativa desarrollan una mayor capacidad para absorberlos.

6.4.2. Entrenamiento/competiciones de elevada intensidad y corta duración

Se ha demostrado que la ingestión de HC durante el ejercicio de alta intensidad (>75% del consumo máximo de oxígeno [VO_2max]) y de una duración relativamente corta (aproximadamente 1 h) mejora el rendimiento, y se ha puesto de manifiesto que el efecto ergogénico durante este tipo de actividad puede residir en el sistema nervioso central (SNC)[44].

Existe evidencia de que los enjuagues bucales con HC también producen mejoras del rendimiento deportivo[49]. Esto sugiere que los efectos beneficiosos del consumo de HC durante el ejercicio no se limitan a la ventaja metabólica convencional[50].

6.4.3. El contenido de hidratos de carbono en la bebida de reposición

La reposición de HC durante el esfuerzo está íntimamente ligada a la reposición hidroelectrolítica, y por tanto la ingestión de fluidos con HC y electrolitos durante el ejercicio prolongado puede evitar la deshidratación, atenuar los efectos de la pérdida de fluidos sobre la función cardiovascular y el rendimiento durante el ejercicio, y retrasar el comienzo de la fatiga.

Como premisa general, la bebida de reposición siempre debe contener HC y electrolitos en cantidades adecuadas (véase el apartado 7).

La mejora en la capacidad de resistencia es una consecuencia de un efecto ahorrador de glucógeno. Los depósitos de glucógeno son limitados (10-12% del peso en el hígado y 1-1,5% del peso en los músculos), de modo que, si se consigue mantener una adecuada glucemia circulante gracias al aporte exógeno de glucosa, puede lograrse un ahorro de glucógeno muscular. De hecho, si se compara con la ingestión de agua, el consumo de una solución con HC añadidos, a un ritmo de 1 g/min, reduce la oxidación de glucosa en el hígado hasta un 30%[51]. En este sentido, está demostrado que el aporte de HC en las bebidas de rehidratación durante el esfuerzo mejora el rendimiento del deportista[52].

El ejercicio físico a elevadas temperaturas incrementa las necesidades de HC en el músculo. La adición de un porcentaje moderado de HC en la bebida (6-8%), con un flujo de ingestión de agua de aproximadamente 800-1.200 ml/h, mejora la absorción y permite remplazar hasta un 80% el agua perdida por el sudor de forma más eficiente.

Esta concentración de HC está especialmente recomendada para sesiones de ejercicios de alta intensidad que duran más de 1 hora, aunque también es adecuada para la reposición en sesiones más cortas y en ejercicios intermitentes prolongados, ya que los HC facilitan la absorción de agua y electrolitos en el intestino delgado. Por otro lado, no hay que olvidar que los HC mejoran la palatabilidad de la bebida, favoreciendo la apetencia hacia su consumo, y no retrasan el vaciado gástrico a concentraciones del 4-8%[53].

6.5. Hidratos de carbono tras el entrenamiento o la competición

Los deportistas deberían intentar optimizar la restauración del glucógeno muscular perdido durante el entrenamiento. A pesar de que pueden darse recomendaciones generales, en términos de gramos de HC por kilo de peso corporal del deportista, resulta más adecuado hacerlo según el tiempo de recuperación disponible entre las sesiones de entrenamiento y las necesidades individuales de cada deportista.

Tras realizar un esfuerzo físico de más de 1 hora de duración, las reservas de glucógeno muscular pueden quedar deplecionadas, con una pérdida que puede estar en torno al 90%[54]. Como consecuencia, se precisa un aporte exógeno de sustratos para alcanzar los valores de

glucógeno previos al ejercicio. La recarga completa de las reservas de glucógeno muscular tras el ejercicio se produce en las 24-48 primeras horas[55], siendo el ritmo de resíntesis directamente proporcional a la cantidad de HC en la dieta durante las primeras 24 horas.

El momento y la composición de la comida tras el ejercicio dependen de la duración y de la intensidad del esfuerzo realizado, y del tiempo que transcurra hasta el comienzo del siguiente entrenamiento o competición.

Dietas con 200 g de HC al día (cantidad necesaria para una actividad habitual) difícilmente podrán restablecer las reservas de glucógeno, por lo que se hace necesario doblar o incluso triplicar la ingesta en situaciones de entrenamientos duros o competiciones seriadas (por ejemplo, vuelta ciclista) si se quiere conseguir un alto grado de repleción[56]. Para que la velocidad de resíntesis de glucógeno sea óptima, hay que consumir HC de medio-alto índice glucémico durante las primeras horas tras la finalización del ejercicio.

Lo adecuado es ingerir comidas con un 70-80% de HC sobre el total de la energía diaria, para evitar tomar muchas proteínas, grasas y fibra que, además de suprimir la sensación de hambre, limitan la ingesta adecuada de HC. Hay ocasiones en las que es preferible tomar preparados líquidos que disminuyen posibles molestias intestinales. Además, hay que tener presente que tras realizar un esfuerzo físico agotador es frecuente que el deportista no sienta hambre y prefiera ingerir líquidos antes que comidas sólidas.

Junto con la rehidratación, la reposición de HC es el objetivo más importante de la alimentación tras el esfuerzo, y es especialmente necesaria cuando el deportista tiene que seguir entrenando o compitiendo el mismo día, al día siguiente o incluso días después.

El momento del consumo de los HC tras el esfuerzo influye mucho en la síntesis de glucógeno en el organismo. Se recomienda la administración de HC durante los primeros 30 minutos después de finalizado el ejercicio y seguir su administración cada 2 horas, hasta alcanzar las 6 horas posteriores al término de la actividad deportiva. Esta estrategia consigue altas concentraciones de glucógeno muscular y hepático, mucho mayores que cuando el consumo se realiza a las 2 horas de finalizar el esfuerzo[57-59].

El tipo de HC también afecta a la síntesis de glucógeno tras el esfuerzo. La glucosa con fructosa, en dosis de 1-1,5 g/kg de peso corporal cada 2 horas, es más efectiva que la fructosa sola[60]. La ingestión de HC en dosis de 4 g/kg de peso corporal durante las 4-6 horas posteriores al ejercicio contribuye a la recuperación de la función normal muscular después de realizar ejercicios fuertes[61].

Si se consumen alimentos completos, los de alto índice glucémico producen valores de glucógeno muscular más elevados[62]. No obstante, el consumo de HC tras el esfuerzo debe contemplarse desde la óptica de la alimentación y la recuperación completa del deportista.

6.6. Efectos prácticos. Composición y características de los diferentes productos (sólidos y líquidos)

Las directrices de nutrición deportiva proporcionan recomendaciones claras para el aporte de energía y nutrientes en gran variedad de contextos[5]. En algunas situaciones es poco práctico para un deportista consumir productos de alimentación normales para conseguir sus objetivos de nutrición, debido a cuestiones relacionadas con la preparación, el almacenaje, la facilidad de consumo o incluso la palatabilidad del alimento, teniendo en cuenta los tiempos de entrenamiento y de competición, lo cual convierte a la alimentación en un auténtico desafío no solo para el rendimiento, sino también para la salud del deportista.

En estos casos, los productos de alimentación destinados al deportista pueden proporcionar una alternativa conveniente (aunque por lo general más cara) para alcanzar estos objetivos nutricionales.

Se expone a continuación una breve descripción de los productos ricos en HC más comunes y de su utilización más adecuada conforme a la evidencia científica.

6.6.1. Bebidas para deportistas

Presentación: polvo o líquido listo para beber.
Composición habitual:
- Mezcla de HC 5-8%.
- Sodio 10-35 mmol/l.
- Potasio 3-5 mmol/l.
- Osmolaridad 270-330 mOsm/l.

Uso habitual: aporte simultáneo de HC, electrolitos y agua durante el ejercicio y reposición tras el esfuerzo.

6.6.2. Bebidas energéticas

Presentación: dosis concentradas o líquido listo para beber.
Composición habitual: mezcla de HC, sobre todo en las variedades listas para su consumo líquido.
- Cafeína.
- Pueden contener taurina, vitaminas del grupo B y otros ingredientes con variable evidencia científica sobre su eficacia.

Uso habitual:
- Previo al esfuerzo (suplementación con cafeína).
- Durante el esfuerzo (cafeína más HC).

6.6.3. Gelatinas o geles para deportistas

Los geles son otra forma de presentación de elementos energéticos que constituyen una alternativa cómoda a las barritas. También son de fácil transporte y consumo, sin necesidad de masticar. Permiten variar la forma de recuperar energía durante la actividad física de cierta duración. Tienen una amplia variedad de sabores y diversas presentaciones.

Si se utiliza cualquiera de estos preparados, hay que tener en cuenta dos precauciones. En primer lugar, probarlos durante los entrenamientos, antes de la competición, para verificar que son bien tolerados, que no provocan molestias y que se consigue el efecto buscado. En segundo lugar, hay que utilizar productos de procedencia fiable; en caso contrario, existe riesgo de que no contengan realmente lo que se anuncia en su etiquetado o publicidad, o que incluyan sustancias dopantes[63,64].
Presentación: gel o gelatina lista para comer.
- Gel: bolsitas de 30-40 g.
- Gelatina: bolsitas de 40-50 g.

Composición habitual:
- Gel: 25 g de mezcla de HC.
- Gelatina: 5 g de mezcla de HC.
- Algunos pueden contener también cafeína

Uso habitual: ingestión de HC durante el ejercicio.

6.6.4. Barritas para deportistas

Son preparados adecuados para las actividades deportivas de más de 90 minutos de duración. Son muy prácticas y fáciles de transportar, incluso durante la realización del ejercicio, por su forma compacta y pequeña.

Son muy digeribles, especialmente si se toman con abundante agua.

Desde el punto de vista nutricional, proporcionan un aporte calórico de 250-500 kcal, con un 60-80% de contenido en HC, un 4-15% de proteínas y un 3-25% de grasas, además de vitaminas y minerales. Se ofrecen en muy diversas composiciones y distintos sabores.

Presentación: barrita lista para comer.

Composición habitual:

- Mezcla de HC 40-50 g.
- Proteínas 5-10 g.
- Vitaminas/minerales: 50-100% de los valores de referencia de nutrientes (VRN).
- Por lo general, bajas en grasa y fibra.
- Pueden contener otros ingredientes, algunos de los cuales no tienen suficiente evidencia científica y pueden aumentar el riesgo de contaminación.

Uso habitual: ingestión de HC durante el ejercicio, reposición tras el esfuerzo (aportan HC y proteínas) y nutrición portátil útil para viajes o en caso de dificultad para la comida habitual por programa de entrenamiento o competición.

6.6.5. Concentrados de hidratos de carbono en polvo

Deberán tener al menos un 75% de HC en su composición, que constituirán la fuente principal de su contenido calórico. De estos HC, el 75% deben tener un alto índice glucémico, como la glucosa y la sacarosa[32].

7. Bebidas especialmente diseñadas para el deportista. soluciones con hidratos de carbono y electrolitos

El agua corporal es el constituyente principal del cuerpo humano. Una correcta hidratación es un factor fundamental para tener un estado óptimo de salud en todas las situaciones y a todas las edades.

Cuando se realiza ejercicio físico, un gran porcentaje de la energía producida para la contracción muscular se libera en forma de calor, que es necesario eliminar para no provocar un aumento de la temperatura corporal por encima de un nivel crítico, lo que tendría consecuencias muy negativas para la salud. Por este motivo, el organismo pone en marcha distintos mecanismos destinados a disipar el calor acumulado, de los cuales el más importante es la sudoración: un deportista bien entrenado, en un entorno cálido y húmedo, puede perder más de 3 litros de líquido por hora a través de la evaporación del sudor.

Basta observar la composición del sudor (Tabla 2) para darse cuenta de que con la sudoración se elimina, además de considerables cantidades de agua, también una considerable cantidad de sales minerales que el organismo no siempre tiene tiempo y posibilidad de equilibrar, y que deben ser repuestas desde el exterior.

Tabla 2. Composición del sudor, del líquido intracelular y del plasma.

	Sudor	Líquido intracelular	Plasma
Sodio (mg/l)	413-1091	230	2.990-3.565
Potasio (mg/l)	121-225	5850	125-215
Calcio (mg/l)	13-67	Muy poco	42-58
Magnesio (mg/l)	4-34	182	8-18
Cloruro (mg/l)	533-1495	284	3.406-3.905

Los dos hechos que más contribuyen al desarrollo de fatiga durante el ejercicio físico son la disminución de los HC almacenados en forma de glucógeno en el organismo y la aparición de deshidratación por la pérdida a través del sudor de agua y electrolitos, cuya reposición es fundamental para restablecer la homeostasis.

Si para compensar estas pérdidas solo se beben grandes cantidades de agua, el plasma sanguíneo se diluye y los niveles de electrolitos y la osmolalidad descienden, lo que supone una situación de riesgo para la salud.

El American College of Sports Medicine[65] considera que los calambres musculares pueden estar asociados a deshidratación, deficiencia de electrolitos y fatiga. Los electrolitos perdidos por el sudor (en particular el sodio y el potasio) deben ser completamente repuestos para restablecer el estado de hidratación.

Las soluciones comerciales diseñadas específicamente para las personas que entrenan y que se utilizan durante la realización de ejercicio físico reciben el nombre general de "bebidas para deportistas" o "bebidas deportivas". Presentan una composición específica con el fin de conseguir una rápida absorción de agua y electrolitos, y reponer los HC perdidos durante la actividad[66].

Según la EFSA[17], las soluciones electrolíticas a base de HC contribuyen a mantener el nivel de resistencia en ejercicios que requieren un tiempo prolongado de ejecución, y mejoran la absorción de agua durante el ejercicio físico. Las bebidas especialmente diseñadas para el deportista deben tener una composición específica para conseguir una rápida absorción de agua y electrolitos, y prevenir la fatiga. Sus objetivos fundamentales son tres:

- El aporte de una cierta cantidad de HC que mantenga una concentración adecuada de glucosa en sangre. Este punto es importante en los ejercicios de larga duración, porque retrasa la aparición de la sensación de fatiga.
- La reposición de electrolitos, sobre todo de sodio. Además, con este elemento se mejora la absorción de la glucosa en el intestino.
- La reposición hídrica para evitar la deshidratación. Estas bebidas saben mejor, por lo que se consumen con más facilidad que el agua.

La bebida deportiva debe suministrar HC como fuente fundamental de energía y tiene que ser eficaz para mantener la óptima hidratación o para rehidratar. Hay que considerar que en la etiopatogenia de la lesión deportiva desempeña un papel primordial la aparición de fatiga muscular, y el comienzo de esta durante ejercicios submáximos prolongados de alta intensidad está asociada de manera habitual con:

- La reducción, y hasta la depleción, del glucógeno muscular.
- La reducción de la concentración de glucosa en sangre.
- La deshidratación.

Por tanto, la ingestión de fluidos con diferentes tipos de HC y electrolitos en el "perientrenamiento", esto es, antes, durante y después de un ejercicio prolongado, puede evitar la deshidratación, atenuar los efectos de la pérdida de fluidos sobre la función cardiovascular y, sobre todo, retrasar y minimizar la fatiga muscular.

Hay que procurar que estas bebidas contengan una mezcla de HC de alto índice glucémico (por ejemplo, una combinación de sacarosa, glucosa, fructosa, dextrinomaltosas, etc.), con una concentración óptima de HC de alrededor de 60-80 g/l. Es preferible la utilización de diversos HC que presenten diferentes sistemas de transporte con el fin de facilitar el vaciamiento gástrico y la absorción de líquidos. Esta estrategia es esencial, en general, durante el ejercicio prolongado, de más de 1,5-2 h de duración, siendo aquí los efectos de los HC principalmente metabólicos, manteniendo constante el aporte de glucosa a los músculos que se están ejercitando.

Las dextrinas cíclicas son HC de bajo peso molecular y baja osmolaridad, con alta solubilidad y baja viscosidad, que provienen de la degradación de la amilopectina, y a su vez son degradadas por la acción de la α-amilasa y la α-glucosidasa en el intestino.

Las bebidas que contienen dextrinas cíclicas altamente ramificadas tienen un vaciamiento gástrico rápido y buena tolerancia, con lo que disminuye el riesgo de alteraciones gastrointestinales durante el esfuerzo. En el intestino tienen una absorción lenta y prolongada, que facilita el mantenimiento de una adecuada glucemia durante el ejercicio, sin provocar picos de respuesta insulínica.

La administración de dosis de 1,5 g/kg de peso en deportistas ha demostrado un incremento en la resistencia al esfuerzo.

En comparación con las maltodextrinas y la glucosa, las dextrinas cíclicas altamente ramificadas han evidenciado una mejora en la percepción de la fatiga, una disminución de las concentraciones de adrenalina y de citocinas urinarias, y un descenso de las respuestas hormonales de estrés.

Aunque los estudios realizados sobre los efectos de las dextrinas cíclicas altamente ramificadas son alentadores, la mayor parte se han llevado a cabo con un bajo número de sujetos, por lo que los resultados deben valorarse con precaución.

El Comité Científico en Alimentación Humana (CCAH) de la UE, en su informe sobre la composición de los alimentos y las bebidas destinadas a cubrir el gasto energético en un gran esfuerzo muscular[67], hace unas recomendaciones muy precisas sobre la composición de las bebidas deportivas e indica que deben suministrar HC como fuente fundamental de energía y que tienen que ser eficaces para mantener una óptima hidratación o para rehidratar.

Se recomiendan los siguientes márgenes en la composición de las bebidas que deberían consumirse durante la práctica deportiva:

- Energía: no menos de 80 kcal/l y no más de 350 kcal/l.
- Al menos el 75% de las calorías provendrán de HC con un alto índice glucémico (glucosa, sacarosa, maltodextrinas).
- HC: no más de un 9% (90 g/l).
- Sodio: no menos de 460 mg/l (46 mg/100 ml o 20 mmol/l) y no más de 1.150 mg/l (115 mg/100 ml o 50 mmol/l).
- Osmolalidad: 200-330 mOsm/kg de agua.

El CCAH aboga por que el término "isotónico" se reserve a las bebidas cuya osmolalidad esté comprendida entre 270 y 330 mOsm/kg de agua. Las bebidas ligeramente hipotónicas, de osmolalidad entre 200 y 270 mOsm/kg, también son recomendadas por el CCAH. Tanto la adecuada osmolalidad de la bebida como la correcta concentración en HC y sodio, y el beber la cantidad adecuada, son factores clave para un vaciado gástrico rápido y una absorción óptima.

El documento de consenso de la SEMED sobre bebidas para el deportista del año 2008 refrendó estas características para la composición de dichas bebidas[68].

Para recuperar el líquido y los elementos perdidos después del esfuerzo se recomienda utilizar preparados con niveles altos tanto de energía (300-350 kcal/l) como de sodio (40-50 mmol/l), y que contengan algo de potasio (2-6 mmol/l). En 2011, el Panel de Productos Dietéticos, Nutrición y Alergias (NDA) de la EFSA también confirmó la composición recomendada por el CCAH para estos productos con el fin de mantener un óptimo rendimiento durante ejercicios prolongados, así como para facilitar la absorción de agua[69].

Está bien documentado que el aporte de un suplemento de 1 g/kg de HC inmediatamente y 1 hora después de la finalización de un ejercicio de resistencia muscular disminuye de manera significativa la rotura de proteínas miofibrilares y la eliminación del nitrógeno ureico, e incrementa levemente el índice de síntesis fraccional de proteínas musculares, dando lugar a un balance proteico positivo. Esto sugiere que el consumo de suplementos de rehidratación con HC y una mínima cantidad de proteínas podría incrementar la concentración de insulina y, por lo tanto, mejorar el balance de proteínas musculares[70].

También parece importante establecer los programas de ingestión de estos suplementos en función de los horarios de los entrenamientos.

Por lo que respecta a las soluciones de HC, el panel de la EFSA ha concluido que "*se ha establecido una relación de causa-efecto entre su consumo y la mejora del rendimiento físico durante ejercicios físicos de alta intensidad y duración*"[21,22]. Para ello se requiere una ingesta de 30-60 g de HC por hora de ejercicio, cantidad que puede aumentarse hasta 90 g si contienen fructosa y esta constituye aproximadamente un tercio de los HC. Sin embargo, esta declaración está pendiente de autorización, ya que algunos Estados miembros pretenden precisar más las condiciones de uso propuestas por la EFSA: la población objetivo son adultos sanos cuando realicen ejercicio físico de alta intensidad (al menos al 65% del VO_2max) y larga duración, y las soluciones de HC deben contener glucosa, mezclas de glucosa y fructosa, sacarosa o maltodextrina.

En cuanto a los electrolitos, existe consenso general en que el sodio es el electrolito fundamental que debe ser restituido durante y después del ejercicio. Sin embargo, hay otros electrolitos que también tienen gran importancia, y sus pérdidas a través del sudor tienen que ser repuestas.

Shirreffs[71] afirma que el potasio puede ser importante para lograr una buena rehidratación intracelular, aunque se necesitan más estudios que aporten una evidencia concluyente. El potasio también se incluye en las bebidas para el deportista en concentraciones similares a las cantidades perdidas por el sudor. También se pierde magnesio y su disminución en plasma puede estar implicada en la aparición de calambres musculares. Aunque la bebida adecuada debería igualar en cantidad a los electrolitos perdidos, esto en la práctica es imposible.

Según Gregor y Conconi[72], durante el ejercicio no es recomendable el consumo de bebidas con altas concentraciones de electrolitos, ya que pueden aumentar la osmolaridad plasmática, con lo que se reduciría la tasa de sudoración y se produciría el consecuente efecto negativo en la termorregulación. Además, los riñones se verían forzados a excretar más electrolitos en una situación en que el caudal de orina es extremadamente bajo. En general, se recomienda que este tipo de bebidas contengan, por 100 ml, 3-8 g de HC y no más de 110 mg de sodio, 150 mg de cloruro, 22,5 mg de potasio, 10 mg de magnesio y 22,5 mg de calcio.

En otro estudio[73] se compararon la falta de hidratación, la ingestión de agua sola y la de tres bebidas deportivas con diferentes concentraciones de sodio, potasio, magnesio y cloro. Con las dos bebidas de mayor contenido en sodio, potasio y magnesio se obtuvo el mayor rendimiento deportivo. Los autores observaron que el efecto antidiurético de los electrolitos contenidos en estas bebidas resultaba beneficioso durante el ejercicio.

El ministerio de trabajo, salud y política social de Italia[74] propuso una composición de los productos diseñados para restaurar las sales hídricas perdidas durante altas sudoraciones, consistente en: energía entre 8 y 35 kcal/100 ml, que provenga de HC simples o de maltodextrinas (o de ambos), osmolalidad entre 200 y 330 mOsm/kg de agua, y las concentraciones de electrolitos que se especifican en la Tabla 3.

El informe técnico de la EFSA, de septiembre de 2015, basado en la opinión de consenso del CCAH y del American College of Sports Medicine, concluye que las bebidas que contienen HC y electrolitos (en particular sodio) contribuyen a mantener el rendimiento físico durante un ejercicio prolongado, y ayudan a mantener el balance hidroelectrolítico. En consecuencia, el reglamento (UE) 432/2012 autoriza dos alegaciones de salud para las "soluciones con HC y electrolitos".

La cantidad perdida de potasio, calcio y magnesio a través del sudor depende de muchos factores, como la predisposición genética, la dieta realizada, la cantidad de sudor eliminado, la condición climática, la duración y la intensidad del ejercicio, y el nivel al que se practica el deporte. Por todo ello, se proponen unas cantidades mínimas y máximas de estos electrolitos por 100 ml de solución CES *(Carbohydrate-electrolyte solutions o Carbohydrate-electrolyte drinks for sport people)* (Tabla 4).

Las declaraciones relativas a la osmolalidad no deberían utilizarse en alimentos para deportistas ni en alimentos de consumo corriente, salvo cuando constituyan una prueba de veracidad para las declaraciones sobre la resistencia física o la absorción de agua en soluciones electrolíticas que cumplan con los cuatro requisitos antes mencionados, uno de los cuales es el rango de osmolalidad establecido por el SCF y

Tabla 3. Composición de los productos diseñados para restaurar las sales minerales y el agua perdidos durante altas sudoraciones*.

Ion	mEq/l	Equivalente en mg/100 ml
Sodio	20-50	46-115
Cloruro	≤36	≤127,8
Potasio	≤7,5	≤29,2

*También se acepta la presencia de magnesio.

Tabla 4. Cantidades de potasio, calcio y magnesio en las soluciones de reposición.

Electrolito	Rango de cantidades en el sudor (mg/100 ml)	Cantidad mínima en CES (mg/100 ml)	Cantidad máxima en CES (mg/100 ml)
Potasio	11,7-58,5	11,7	58,5
Calcio	0,6-4	0,6	4
Magnesio	0,24-1,8	0,24	1,8

CES: *Carbohydrate-electrolyte solutions.*

refrendado por la EFSA: "isotónico" 270-330 mOsm/kg de agua y "ligeramente hipotónico" 200-270 mOsm/kg de agua.

Existe una gran confusión en cuanto a la terminología empleada para denominar estos productos: bebidas para deportistas, bebidas hidratantes, bebidas isotónicas, bebidas ricas en HC… El termino más adecuado con el fin de evitar confusiones y para cumplir con lo expresado por la EFSA sería el de "soluciones (o bebidas) hidroelectrolíticas con HC". Las denominadas *energy drinks* deberían ser llamadas "bebidas estimulantes" o algo similar, a efectos de diferenciarlas de las bebidas para deportistas cuya finalidad sea básicamente energética, no la de hidratar de las soluciones hidroelectrolíticas con HC[75].

8. Proteínas como ayuda ergogénica en el deporte

Las proteínas son moléculas formadas por AA que desempeñan importantes funciones enzimáticas, estructurales y reguladoras en el organismo. Son necesarias para el mantenimiento y el desarrollo de los tejidos, la síntesis de hormonas, el transporte de sustancias por la sangre y en las células, etc.

Las proteínas son suplementos nutricionales muy utilizados por los deportistas, ya que son imprescindibles para activar las vías de la hipertrofia muscular y prevenir el catabolismo proteico cuando se combinan con el ejercicio, ayudando a incrementar la fuerza y la potencia musculares. El suministro proteico es fundamental para el desarrollo muscular, al estimular la síntesis de proteínas musculares, y para reparar el daño muscular producido por el ejercicio; además, en determinadas circunstancias, las proteínas también pueden ser importantes como fuente energética[76].

Se ha comprobado que la ingestión de proteínas después del ejercicio aumenta la reposición de glucógeno, y que las proteínas también pueden producir cantidades importantes de trifosfato de adenosina (ATP) en el músculo, aunque a una velocidad mucho más lenta que la de los HC[77].

Una suplementación proteica puede beneficiar también al sistema inmunitario si tenemos en cuenta que los AA son moléculas de señalización, que regulan la función de los linfocitos[78].

8.1. Tipos de proteínas alimentarias

Las proteínas pueden obtenerse de alimentos de origen animal o vegetal, y también de forma sintética. Las de origen animal (clara del

huevo, leche, carne, pescado y pollo), al contener todos los AA esenciales (AAE) y en la cantidad adecuada, tienen mayor valor biológico, pero dependiendo de la fuente algunas pueden asociarse con una elevada ingesta de grasas saturadas y colesterol. Las proteínas de origen vegetal (legumbres, frutos secos, cereales...) pueden carecer de suficiente cantidad de algún AAE (AA limitante), pero al combinarse entre ellas proporcionan una proteína de gran calidad y permiten una reducción en la ingesta de grasas saturadas. Las proteínas alimentarias también pueden diferir en sus velocidades de digestión y absorción.

Las mejores fuentes de proteínas, bajas en grasa y de alta calidad, son el pollo sin piel, el pescado, la clara de huevo, la carne magra de ternera, la caseína y el suero de leche. En general, la absorción de AA de las proteínas vegetales es mucho más lenta, aunque la leucina de la proteína del arroz se absorbe incluso más rápido que la proteína del suero de la leche (WP, *whey protein*). Por otra parte, las enzimas digestivas, los probióticos y el HMB pueden usarse para superar las diferencias en la calidad de la proteína[77,79,80].

Las proteínas que se recomiendan en el ámbito deportivo (WP, proteínas extraídas de la caseína, proteínas extraídas del calostro bovino, proteínas derivadas de la soja o proteínas del huevo) son consideradas proteínas de alta calidad y se caracterizan por contener mayores cantidades de AAE[81]. Entre todas ellas destacan:

- *Proteínas extraídas de la caseína*. Representan el 80-82% de las proteínas encontradas en la leche (el resto se encuentran en el suero). Son capaces de distribuir AA en el torrente sanguíneo hasta durante 7 horas después de su ingestión; son "proteínas lentas"[82].
- *Proteínas del suero de la leche.* El suero de la leche es el líquido que queda al quitar la grasa y la caseína de la leche. Contiene gran cantidad de AAE y AA de cadena ramificada fácilmente absorbibles por el músculo que los utiliza. Las WP son proteínas rápidas y representan en torno al 18-20% de las proteínas totales de la leche. Pueden presentarse como polvo de proteínas, concentrados de proteínas (WPC80 o 90) o aislados de WP[83]. Estas proteínas tienen alta capacidad para realizar la síntesis de proteínas musculares y consiguen una recuperación muy rápida de la función muscular después de los entrenamientos de resistencia, mejorando la fuerza y la masa magra, y disminuyendo la fatiga. Existen algunas discrepancias sobre estos resultados, que pueden deberse al tipo de entrenamiento, al estado de forma de los deportistas y a la estrategia de suplementación[77,82,84-89]. Algunos trabajos han demostrado el carácter anabólico del suero lácteo[90]. Burke *et al.*[91] realizaron estudios con suero de leche y creatina, y observaron un aumento significativo de la fuerza en el grupo que ingería suero lácteo solo. Lands *et al.*[92], al analizar un producto elaborado con suero rico en cisteína, encontraron una mejora del rendimiento deportivo. Y Brown *et al*.[93] constataron un aumento de la masa magra en deportistas que tomaban WP[93], incluso superior al de los que tomaban proteína de soja, aunque estos últimos tenían efectos antioxidantes suplementarios. Otro efecto muy importante de las WP es que fomentan el incremento de los depósitos de glucógeno[94], lo que aumenta el valor de ingerirlas tras la realización de esfuerzos de larga duración[95].
- *Hidrolizados de proteínas.* Las proteínas hidrolizadas, que contienen fundamentalmente dipéptidos y tripéptidos, son absorbidas con mayor rapidez que los AA libres y otro tipo de proteínas[96]. Son más efectivos para generar fuerza muscular tras ejercicios excéntricos, así como en la reparación del daño muscular, y tienen más capacidad que las proteínas completas y que los AA libres para reponer los depósitos de glucógeno en el músculo tras el ejercicio[97].

El CCAH estableció que la calidad de las proteínas de los productos nutricionales utilizados con finalidad proteica fuera alta, fijando como mínimo un 70% de utilización proteica neta, y que si se les añadía vitamina B6, esta estuviera en una proporción no inferior a 0,02 mg/g de proteínas[98].

8.2. Ingesta recomendada de proteínas en deportistas

La cantidad de proteínas necesarias en la dieta de una persona que hace deporte depende de muchos factores, entre los que destacan la edad (durante el desarrollo, las necesidades son el doble o el triple que en el adulto), el estado de salud, el tipo de actividad practicada y su intensidad, el valor biológico de las proteínas, etc.[79].

Mientras que en el sujeto sedentario el equilibrio nitrogenado se logra con un porcentaje de un 8-10% de las calorías totales derivadas de las proteínas, en el deportista este equilibrio puede verse multiplicado por dos, es decir, entre un 15% y un 20% del total energético. Así pues, en un deportista que necesita 4.000 kcal/día, el 15% serían 600 kcal derivadas de proteínas, y teniendo en cuenta que 1 g de proteína corresponde a 4 kcal, ello supondría un aporte proteico de 600 / 4 = 150 g. Por tanto, si un deportista pesa 80 kg, serían 150 / 80 = 1,8 g/kg al día. En este contexto, mantener una baja ingesta de grasa es obligado, y considerando que las proteínas normalmente van asociadas a grasa (en especial animal), es habitual considerar los suplementos de proteína pura (exenta de grasa) como una buena manera de llegar a una ingesta de 1,8 g/kg al día con un máximo de un 30% de kilocalorías derivadas de la grasa.

Es decir, los deportistas en general, y en especial los menos entrenados, tienen incrementadas sus necesidades proteicas. La ingesta recomendada para aumentar y mantener la masa muscular, con un equilibrio proteico positivo, puede estar entre 1,2 y 2,2 g de proteínas por kilo de peso corporal al día, frente a los 0,8-1 g que precisan las personas que no hacen deporte[5,77,99,100]. Para la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva (ISSN), los deportistas que participan en actividades de resistencia deben consumir una cantidad de proteínas en el extremo inferior de este rango, los que participan en actividades intermitentes deben ingerir cantidades en la zona media, y los que participan en ejercicios de fuerza/potencia deben consumir una cantidad en el extremo superior de este rango.

Según diversos estudios, los deportistas que realizan un entrenamiento intenso y de volumen elevado pueden tomar entre 1,7 y 2,2 g/kg al día[99,101].

Una dosis de 20-40 g de WP (0,25-0,50 g/kg por dosis), con 10-12 g de AAE cada 3 o 4 horas, favorece la síntesis de proteínas musculares y se asocia con mejoras en la composición corporal y en el rendimiento[77,81].

Se ha demostrado que la ingestión de unos 10 g (9-15 g) de AAE en forma libre o formando parte de un suplemento de proteínas de alta calidad, antes o después del entrenamiento de resistencia, estimula al máximo la síntesis de proteínas musculares, e incluso parecen ser los únicos causantes de este incremento. A igual dosis, la respuesta es mayor

con los AA que con las proteínas[77,81,102]. Parece ser que es importante que exista una relación 2-3/1/1 entre los AA leucina, isoleucina y valina[103].

En algunas circunstancias, o en determinados deportes, puede ser necesaria una mayor ingesta de proteínas (2,3-3,1 g/kg al día) para maximizar la masa magra[76,77].

La mayoría de las enzimas implicadas en la síntesis proteica en las células actúan a la máxima velocidad cuando la concentración intracelular de AA está entre 10 y 30 µM (generalmente esos valores son mucho más altos). Además, el aumento de la síntesis proteica ocurre tras la ingestión de comidas que contienen HC, como consecuencia del efecto insulinotrópico de dicha mezcla. Después de un esfuerzo físico intenso, lo ideal es tomar HC y algo de proteína (nada de grasa). Un bocadillo de lomo (70 g de pan y 40 g de lomo embuchado) proporciona unas 328 kcal y un total de 18 g de proteína, junto con 9 g de grasas (28% del total de la energía). Por el contrario, 40 g de un suplemento facilitado por la tecnología actual, como es el aislado de suero de leche con maltodextrina (10 g de suero de leche, 5 g de fructosa, 5 g de glucosa y 20 g de maltodextrina), tienen 150 kcal y proporcional 9 g de proteína rica en AA ramificados (996 mg de leucina), 0 g de grasa y 30 g de HC de alta carga glucémica (esta es, por tanto, una ayuda ergogénica eficaz).

A la luz de lo que se sabe, da la impresión de que lo relevante no es la cantidad total de proteínas que se toman al día, sino que las comidas realizadas estén equilibradas y, sobre todo, que inmediatamente después de entrenar se ingiera una pequeña cantidad de proteína unida a HC.

Hay que añadir que el Panel de Expertos de la UE para productos dietéticos concluye en una reciente decisión que está suficientemente establecida la relación de causa y efecto entre la ingesta diaria de proteínas y el aumento o el mantenimiento de la masa muscular[69].

La suplementación con proteínas puede realizarse en forma tanto líquida como sólida. El modo en que se administran los suplementos proteicos puede ser en polvo (para mezclar con agua o leche) o como líquido listo para beber, en barritas ricas en proteínas, etc. Los alimentos completos con fuentes proteicas en forma líquida se digieren más rápido que los que se presentan en formas sólidas[104].

Los suplementos proteicos pueden ser necesarios en determinados momentos del programa de entrenamiento siempre que la alimentación sea equilibrada y, sobre todo, que se tomen en pequeñas cantidades en las fases previas o posteriores al entrenamiento (junto con HC).

Ahora bien, la pretensión que tienen algunos deportistas de compensar sus limitaciones en el rendimiento con un aumento en la ingesta de AA o de proteínas es un grave error.

8.3. Importancia del momento y de la frecuencia de la ingestión de proteínas

El consumo de proteínas o AA esenciales inmediatamente antes, durante o después del ejercicio (nutrición perientrenamiento) maximiza la reparación muscular y las adaptaciones relacionadas con la fuerza y la hipertrofia muscular, y es una buena estrategia para estimular la síntesis de proteínas musculares, ya que el músculo puede estar sensibilizado a la ingestión de proteínas y derivados en las horas próximas al ejercicio[77,81,105,106].

La ingesta de proteínas debería distribuirse a lo largo del día: una cantidad proteica de 20-40 g (0,25-0,40 g/kg por toma) cada 3 o 4 horas mejora la tasa de síntesis de proteínas musculares, así como la composición corporal y el rendimiento deportivo[77,81]. Para otros autores, la dosis recomendada por comida es de 0,3-0,5 g/kg (3-4 veces al día)[5].

Respecto a la ingestión de proteínas antes de irse a dormir, es un tema controvertido, pero se ha comprobado que la administración de proteínas en bebidas 30 minutos antes del sueño y 2 horas después de la última comida (cena) acelera la recuperación muscular, incrementa la síntesis de proteínas musculares, estimula el metabolismo e incluso se obtienen ganancias superiores en la masa muscular y en la fuerza[107].

Todavía queda pendiente realizar investigaciones sobre cuál es el momento ideal para que la ingestión sea más favorable. La recomendación más práctica es que los deportistas consuman una comida rica en proteínas antes y después del entrenamiento[79,81,101].

8.4. Seguridad de la suplementación proteica

Aunque se ha comprobado en muchas investigaciones que la suplementación proteica (dentro de unos límites tolerables) es segura y no tiene efectos perjudiciales, todavía existen algunas dudas razonables sobre las implicaciones clínicas que tiene el consumo excesivo de proteínas, en especial sobre los riñones y el hígado, pero hasta el momento no existen datos concluyentes en cuanto a cuáles son los límites superiores seguros de su consumo[108].

Las proteínas consumidas en exceso, que el organismo no necesita para el crecimiento o para el recambio proteico, se utilizan en las células para producir energía. Aunque su rendimiento energético es alto, tienen una combustión más compleja y dejan residuos metabólicos, como el amoniaco, mucho más tóxicos para el cuerpo humano.

Uno de los principales puntos de discusión en relación con la ingesta de proteínas y la función renal es la creencia de que el consumo excesivo de proteínas de forma habitual puede provocar un aumento de la presión glomerular y secundariamente una enfermedad renal crónica, pero no se ha demostrado.

La suplementación recomendada en el deportista (hasta 2,2 g/kg al día) no implica ningún riesgo[77,109], y una suplementación con cantidades más altas (entre 3,4 y 4,4 g/kg al día) durante varios meses tampoco parece tener efectos adversos en el hígado o los riñones[110-112]. Un consumo excesivo estaría contraindicado en pacientes con insuficiencia renal o hepática[113].

8.5. Suplementación proteica y composición corporal

Muchos estudios han demostrado que los suplementos proteicos mejoran la composición corporal y el rendimiento deportivo, al promover la pérdida de masa grasa o incrementar la masa libre de grasa cuando se combina con programas de entrenamiento de fuerza o resistencia[114,115]. Sin embargo, en relación con estos resultados hay alguna discrepancia[84].

No está comprobado que consumos proteicos superiores a 3 g/kg al día mejoren el rendimiento deportivo, pero sí pueden tener efectos positivos en la composición corporal de deportistas de resistencia al promover la pérdida de masa grasa, y si además se combinan con una dieta hipocalórica, la pérdida de grasa se incrementa[116]. De acuerdo

con la ISSN, la suplementación con cantidades elevadas de proteínas (doble o triple de la recomendada), asociada a una dieta hipocalórica en deportistas que entrenan resistencia, puede incrementar la pérdida de masa grasa y modificar la composición corporal[77].

8.6. Suplementos proteicos y fuerza muscular

Los resultados varían en función de numerosas variables, como el estado de forma, el tipo de entrenamiento (intensidad, volumen, progresión) y la duración del programa, la edad del deportista, el sexo, la ingesta energética y la dosis de suplemento proteico, así como la calidad de las proteínas administradas y el momento de su ingestión, por lo que hay información contradictoria[105,117-119].

La administración de suplementos de proteínas o de AA, o de ambos, puede aumentar la respuesta adaptativa del músculo esquelético al entrenamiento de fuerza, lo que se traduce en mayores ganancias en la masa o en la fuerza muscular al aumentar la síntesis de proteínas musculares o disminuir la pérdida de masa muscular[86,114,120,121].

La síntesis de proteínas musculares aumenta tras ejercicios de fuerza con pequeñas cantidades de proteínas (5-10 g), y el incremento es mayor si la ingesta aumenta hasta 20 g. La administración de más cantidad lleva a una producción mayor de urea y a un incremento de la oxidación de AA[100].

Aunque los datos existentes no son concluyentes, la suplementación de proteínas, dentro de una dieta con una ingesta adecuada de energía y nutrientes, parece que incrementa la fuerza muscular, al menos cuando se utilizan dosis altas (más de 2 g/kg al día)[81,86,114,120].

8.7. Suplementos proteicos y ejercicio de resistencia

La suplementación proteica parece mejorar ligeramente el rendimiento cuando se administra, durante varios días o semanas, un poco antes, durante o poco después del ejercicio de resistencia, y siempre que la ingesta de HC sea la adecuada[77].

La ISSN, al igual que otros investigadores y organismos científicos, considera que el ejercicio agudo e intenso, especialmente de resistencia, junto con la ingestión de proteínas, estimula la síntesis de proteínas musculares y aumenta la masa muscular y la fuerza cuando la toma de proteínas se realiza antes o después del ejercicio de resistencia; además, mejora el estado de ánimo, acelera la recuperación muscular y disminuye la fatiga[77,122-126]. Sin embargo, no se ha visto que una dieta hiperproteica (3 g/kg al día) mejore el rendimiento en comparación con consumos de 1,5 g/kg al día en deportistas de resistencia[127].

Agregar proteína a una bebida o un gel de HC (unos 0,25 g/kg por hora de ejercicio), durante o después del ejercicio de resistencia máximo, disminuye o suprime los marcadores de daño muscular (creatina cinasa y mioglobina) de 12 a 24 horas después del ejercicio[128], así como el dolor muscular, aunque no existe unanimidad en los resultados[127].

Se han realizado pocas investigaciones sobre las necesidades de suplementos proteicos en deportes de naturaleza intermitente (fútbol, baloncesto, etc.), pero con los conocimientos actuales se sugiere una ingesta en un rango medio de las recomendaciones (en torno a 1,7 g/kg al día).

8.8. Puntos clave

- Las proteínas desempeñan importantes funciones enzimáticas, estructurales y reguladoras en el organismo. Estimulan la síntesis de proteínas musculares, ayudan a incrementar la fuerza, intervienen como fuente energética y en la reposición de glucógeno, y colaboran con el sistema inmunitario en la prevención de las infecciones.
- Las proteínas alimentarias difieren por su cantidad y composición de AA, y por sus velocidades de digestión y absorción. Las proteínas que normalmente se recomiendan para deportistas (WP, proteínas de la caseína, proteínas extraídas del calostro bovino, proteínas derivadas de la soja o proteínas del huevo) son de alta calidad.
- Aunque una dieta variada y regular posiblemente suministre las proteínas que necesita un deportista, los suplementos proteicos son una forma práctica de asegurar una ingesta de calidad y en cantidad adecuada.
- La ingesta proteica recomendada en deportistas oscila entre 1,2 y 2,2 g/kg al día. Consumos mayores no proporcionan ningún beneficio adicional, excepto en algunas fases del entrenamiento en determinados deportes.
- Las proteínas y los AAE son más eficaces inmediatamente antes, durante o después del ejercicio. La ingesta debería distribuirse a lo largo del día, cada 3 o 4 horas.
- La cantidad máxima de proteínas que puede consumirse sin que se afecte la salud es un tema en continua discusión. La suplementación hasta 2,2 g/kg al día no parece provocar efectos adversos en el hígado o los riñones de los deportistas sanos. Hay que vigilar a las personas con insuficiencia renal o hepática.
- Cuando la ingesta de HC es óptima, el impacto de la adición de proteínas parece mejorar la composición corporal, la fuerza, el rendimiento de resistencia y la recuperación del glucógeno muscular
- La suplementación con WP puede indicarse en todos los deportes, según las características individuales de la persona que entrena. La cantidad a tomar está en función del resto de la ingesta alimentaria del deportista. Siempre hay que tener en cuenta las necesidades de proteínas por kilo de peso y día de la persona que realiza una intensa actividad física.

9. Otros nutrientes esenciales

9.1. Minerales

La IDR de los principales minerales está establecida para la población en general, en relación con los hábitos alimentarios de cada país, asumiendo que una dieta equilibrada y ajustada al gasto energético individual cubre las necesidades en nutrientes tanto en personas sedentarias como en aquellas con una actividad física considerable, incluidos los deportistas[28,129-139].

En la UE y en algunos países que la integran, así como en los EE.UU., se establecen los límites máximos de seguridad (UL, *Tolerable Upper Intake Levels*) para la ingesta de algunos minerales (hierro, zinc, selenio, manganeso, cromo, yodo y cobre) y vitaminas con cifras absolutas o como múltiplos de las ingestas diarias recomendadas (IDR), incluso en el caso de la práctica deportiva, tanto moderada u ocasional como

intensa[132-135]. En la UE están pendientes de fijar los niveles máximos de minerales y vitaminas presentes en los complementos alimenticios (Directiva 2002/46/CE) y en los demás alimentos (Reglamento CE 1925/2006).

Las ingestas recomendadas para la actividad física y el deporte aquí citadas corresponden a las de adultos mayores de 19 años con talla y peso de 1,62 m y 55 kg en las mujeres, y de 1,75 m y 70 kg en los hombres, con un gasto energético medio de 1.800 kcal para las mujeres y de 2.200 kcal para los hombres, con coeficientes de corrección sobre 1.000 kcal suplementarias[132-135].

Existen pocos estudios sobre los hábitos alimentarios y la valoración nutricional en deportistas para poder asegurar que la dieta es equilibrada cubriendo sus necesidades fisiológicas. En algunos de ellos se han obtenido resultados que orientan hacia unos hábitos de alimentación mejorables para cubrir las necesidades en nutrientes energéticos, vitaminas y minerales[140-144].

9.1.1. Potasio

El potasio es un catión intracelular que interviene en el equilibrio ácido-base, la contracción muscular y la actividad neuromuscular. La concentración de potasio en suero es de 3,5-5 mEq/l (3,5-5 mmol/l). Se absorbe de forma rápida y se elimina en un 90-95% por el riñón y el resto con las heces[145]. En los hábitos alimentarios actuales, la ingesta promedio de potasio es de 3-4 g, sin exceder los 5-6 g[1-3].

El déficit de potasio puede producirse por vómitos, diarrea y pérdidas urinarias debidas a laxantes o diuréticos. La hipopotasemia puede afectar al sistema neuromuscular hasta la parálisis, la arritmia cardiaca y la parada cardiaca[132].

Hay estudios que refieren que la suplementación a dosis de 5-7 g/día puede producir alteraciones de la conducción cardiaca en adultos aparentemente sanos, así como disfunciones gastrointestinales (irritación, erosión, ulceración de mucosas) con cantidades que varían de 0,9 a 4,7 g/día. La incidencia y la gravedad parecen ser más dependientes de la formulación que de la dosis[2].

Se citan como grupos vulnerables al aumento de la ingesta de potasio las personas mayores debido a la función renal reducida o a tratamientos farmacológicos que afectan el equilibrio del potasio, los sujetos que participan en actividades extenuantes que conducen a la deshidratación, y aquellos con deterioro de la función renal en enfermedades con tratamiento farmacológico que afectan la homeostasis del potasio, como la enfermedad cardiovascular y otros trastornos metabólicos; y también otros grupos que consumen suplementos o sustitutivos de la sal que contienen potasio, con el resultado de una alteración en la conducción cardiaca tras ingestas agudas o subcrónicas de moderadas a altas[2].

La adaptación renal a una sobrecarga aguda de potasio es relativamente lenta, y se necesitan de 6 a 12 horas para normalizar la potasemia, mientras que la respuesta del riñón a la restricción dietética de potasio es aún más lenta y no está completamente desarrollada hasta pasados 7 o 10 días. Incluso entonces, las pérdidas urinarias de potasio suelen ser superiores a 20 mEq al día[145].

La IDR o valor dietético de referencia, tanto para la población española adulta como para la europea, sigue siendo la misma, de 3.500 mg (Departamento de Nutrición de la Universidad Complutense de Madrid, *European Food Safety Authority*)[1,4], y no hay datos disponibles suficientes para establecer un límite máximo de seguridad (UL) en su ingesta[1-3,6,10], ya que las cantidades de potasio de los alimentos no se han asociado con efectos adversos en niños y adultos sanos[1,3]. Se ha demostrado que la ingestión a largo plazo de suplementos de potasio, como el cloruro de potasio, de aproximadamente 3 g/día, además de la cantidad contenida en los alimentos, no tiene efectos adversos[2].

El ejercicio muscular, tanto aeróbico como anaeróbico, no produce pérdidas importantes de potasio como para alterar el estado de salud y el rendimiento del deportista. Puede resultar efectivo su aporte en bebidas para después de la práctica deportiva, puesto que ayuda a normalizar la hidratación al facilitar la retención de agua en el espacio intracelular[68].

No hay estudios concluyentes sobre su suplementación tanto en la población en general como en la práctica deportiva, excepto en bebidas de rehidratación[1,2,6,19,146-151] después del esfuerzo físico.

9.1.2. Sodio

La ingesta recomendada en la UE era de 0,6-3,5 g/día[150], pero la recomendación actual es de 2 g/día y no sobrepasar los 6 g/día de cloruro sódico o su equivalente, 2,4 g/día de sodio, lo cual puede conseguirse limitando el consumo de sal común y de alimentos salados. Para la población adulta norteamericana se establece una ingesta adecuada de 1,5 g/día, con un límite máximo de 2,3 g/día[131].

No hay referencias para las IDR y los UL, salvo para la población norteamericana, que son de 1,2-1,5 g y 2,3 g, respectivamente (ingesta total proveniente de alimentos, agua y suplementos)[10].

La deficiencia de sodio en la dieta es muy poco común debido a la presencia generalizada de sodio en los alimentos, bien como componente habitual en cantidades bajas o como sazonador, principalmente sales de cloruro de sodio y glutamato sódico, o utilizado como conservador en forma de nitrato, fosfato o glutamato de sodio. La ingesta diaria media de sodio en Europa es de aproximadamente 3-5 g (8-11 g de sal), lo que supera las necesidades dietéticas (1,5 g/día en adultos, casi 4 g de sal). La principal fuente de sodio en la dieta proviene de alimentos procesados (70-75% de la ingesta total), con aproximadamente un 10-15% de sodio natural en alimentos no procesados y en torno a un 10-15% de sodio añadido como sazonador en preparaciones culinarias y en la mesa. Estas cantidades exceden a las requeridas, y el consumo actual de sodio como cloruro de sodio se asocia con una mayor probabilidad de aumento de la presión arterial, que a su vez se ha relacionado directamente con el desarrollo de enfermedad cardiovascular y renal. Por estas razones, los organismos nacionales e internacionales han establecido objetivos para una reducción del sodio consumido en la dieta[2,3].

En cuanto al esfuerzo físico, el sodio es el único electrolito que se ha evidenciado como indispensable para ayudar a mantener una situación de eunatremia[2,3,10,146-149] y, por lo tanto, para mantener la hidratación en la práctica deportiva como colaborador en el funcionamiento de la musculatura[152]. Su utilización recomendada es en forma de bebidas y como ingrediente de suplementos[146-149,153] (véase el apartado 7).

9.1.3. Magnesio

El magnesio es un mineral que se encuentra repartido en el organismo formando parte del esqueleto (59%), del tejido muscular o los tejidos blandos (40%), y del líquido extracelular (1%)[130]. Interviene

como cofactor en procesos fisiológicos y bioquímicos relacionados con la fosforilación oxidativa, la glucólisis, la transcripción del ácido desoxirribonucleico (ADN), la síntesis proteica y el mantenimiento de las membranas. Está especialmente relacionado con los procesos de transmisión neuromuscular[132], el balance electrolítico y la liberación de energía, y contribuye a la reducción del cansancio y de la fatiga[154]. La concentración sérica de magnesio es de 1,4-2 mEq/l. Se absorbe con un coeficiente del 30-50%, influenciado por la vitamina D y la ingesta de calcio. Su homeostasis se regula principalmente por reabsorción tubular renal[131-132].

No se ha descrito un déficit estrictamente dietético. La hipermagnesemia se ha relacionado con la toma de productos que contienen magnesio, pero no con laxantes y antiácidos que pueden aportar pequeñas cantidades[130].

Las necesidades de magnesio en los adultos son de 4,5 mg/kg[130]. La IDR para la población española adulta se sitúa en el rango de 300-400 mg[129]. La IDR según el National Research Council es de 6 mg/kg, con un rango, para adultos, de 310-420 mg, y con una cantidad límite de 350 mg cuando el aporte es de origen no alimentario[130,131]. Si el aporte es alimentario, el límite superior de seguridad para la población francesa está establecido en 700 mg/día [1,8 ANC-IDR (*Apports Nutritionnels Conseillés* - Ingesta Diaria Recomendada)][132]. En la UE, la IDR es de 300-350 mg, pero a efectos de etiquetado de alimentos es de 375 mg[155], y se establece un UL de 625 mg, con un máximo de 250 mg para los complementos alimenticios y los alimentos enriquecidos con sales de magnesio fácilmente disociables, a fin de evitar posibles episodios de diarrea[133]. Existe alguna referencia en cuanto a un efecto negativo sobre el balance del fósforo si se superan los 500 mg/día de magnesio[68]. Una dieta equilibrada cubre las necesidades de este mineral, y su principal fuente son las legumbres, los frutos secos, los cereales y sus derivados ricos en fibra.

Como el magnesio es indispensable en el metabolismo energético, en la función cardiorrespiratoria y en el trabajo muscular, se han realizado estudios en humanos con su administración como suplemento, buscando una mejora en parámetros de rendimiento, tanto para ejercicios aeróbicos como anaeróbicos, pero es necesaria una metodología más rigurosa, especialmente en intervenciones a gran escala, en humanos, para llegar a resultados y conclusiones fiables[156].

No hay trabajos científicos concluyentes sobre su suplementación en la práctica deportiva, y se considera que el esfuerzo físico no incrementa la necesidad del aporte de magnesio sobre las IDR y los UL[146,149-151,157,158].

9.1.4. Calcio

El calcio se encuentra en el organismo en una cantidad de 1.000 g como catión divalente más cuantioso. Participa en el metabolismo energético, la contracción muscular, la excitabilidad neuromuscular, la conducción nerviosa y la coagulación de la sangre, principalmente[159].

La concentración sérica de calcio es de 8,5-10,5 mg/dl, con una regulación homeostática de ± 1,5 mg/dl controlada por un sistema complejo, en el que intervienen la 1,25 dihidroxivitamina D (calcitriol), la hormona paratiroidea y la calcitonina, y en el que la biodisponibilidad del calcio, su absorción y su fijación ósea dependen de la excreción endógena fecal y de la excreción renal, que están influenciadas por los hábitos alimentarios. En cuanto a la reabsorción tubular, disminuye en caso de acidosis metabólica provocada por dietas ricas en aniones cloruro y sulfato o en proteínas con AA azufrados, y se neutraliza con dietas a base de hortalizas y frutas ricas en potasio. El exceso de sodio provoca una pérdida de calcio equivalente a 30 mg por 2 g de sodio en exceso. Con respecto al equilibrio fosfocálcico, si el aporte de fósforo es elevado y el de calcio es deficiente (calcio/fósforo <1), puede producirse, a largo plazo, un hiperparatiroidismo secundario con pérdida de densidad ósea. Es una situación que puede presentarse con un consumo elevado de carnes, huevos, derivados lácteos y productos alimentarios con fosfatos como aditivos[132]. La relación óptima calcio/fósforo en la dieta varía entre 1 y 2[160].

Se absorbe en un 30-40%, regulado por el calcitriol. Los fitatos, el ácido oxálico y algunas pectinas, pueden dificultar la absorción del calcio vegetal[132-144].

Las necesidades de calcio en los adultos son de 400-1.000 mg/día[68]. La IDR para la población española adulta se sitúa en el rango de 800-1.300 mg[129,161]. Para la población adulta norteamericana es de 1.000-1.200 mg, con un límite máximo de 2.000-3.000 mg[131]. La recomendación de la UE para los adultos es de 950-1.000 mg, pero a efectos del etiquetado de alimentos es de un aporte diario de 800 mg[155], y el UL es de 2.500 mg[133]. Una dieta equilibrada, con suficientes alimentos con calcio, tanto de origen lácteo como no, generalmente cubre las necesidades diarias. El exceso de calcio puede inhibir la absorción de hierro, zinc y otros minerales, favorecer el estreñimiento, provocar hipercalcemia y alterar la función renal[130].

Se recomiendan ingestas de calcio de 1.500 mg/día, y 1.500-2.000 UI (37-50 µg) de vitamina D, para optimizar la salud ósea en atletas con baja disponibilidad de energía o disfunción menstrual[5].

9.1.5. Fósforo

La cantidad de fósforo en el organismo es de unos 700 g. Es necesario para la función celular y el aporte de oxígeno a los tejidos, y participa en el almacenamiento de energía y en los procesos tampón en sangre y orina[162]. La concentración plasmática del fósforo es de 2,2-4,4 mg/dl. El 90% circula libre y el resto lo hace unido a aniones monovalentes y divalentes, y a proteínas. En su homeostasis participan las mismas hormonas y condicionantes que para el calcio, por lo cual es imprescindible el equilibrio fósforo/calcio para el metabolismo óptimo de ambos minerales. Se absorbe el 60% de la cantidad ingerida, por mecanismos similares a los del calcio. La absorción se efectúa como ortofosfato y fósforo inorgánico obtenido por hidrólisis de fosfolípidos, fosfolipoproteínas y fosfoazúcares provenientes de la dieta. El fósforo ligado a fitatos se absorbe alrededor del 50%; el utilizado en tecnología alimentaria en forma de polifosfato (hexametafosfato de sodio) se hidroliza en ortofosfato para ser absorbido[132,145].

La IDR para la población española adulta es de 700-1.200 mg[129]. Para la población adulta norteamericana, la IDR es de 700-1.250 mg/día, con un límite máximo de 4 g/día[131]. En la UE se establece una ingesta adecuada de 550 mg, y a efectos del etiquetado de alimentos es de 700 mg[155]. No se estima que pueda haber una deficiencia en los aportes de este mineral dada su existencia en numerosos alimentos, sobre todo los ricos en proteínas, tanto de origen animal como vegetal, los frutos

secos y los cereales. Como se ha citado en el apartado correspondiente al calcio, una dieta excesiva en alimentos ricos en fósforo y aditivos que lo contienen puede dificultar el metabolismo del calcio. Se ha evidenciado falta de fósforo exógeno en pacientes con nutrición parenteral[144].

Los datos de la bibliografía de referencia indican que las personas sanas pueden tolerar ingestas de fósforo de hasta 3.000 mg/día sin efectos sistémicos adversos. Sin embargo, pueden producirse síntomas gastrointestinales leves, como diarrea osmótica, náuseas y vómitos, con toma de suplementos a dosis >750 mg de fósforo al día. La ingesta media actual de fósforo de origen dietético y como suplemento en algunos países europeos se sitúa en 1.000-1.500 mg/día, con algunos consumos altos (percentil 97,5) de hasta 2.600 mg, sin evidencia de efectos adversos asociados[1].

Con respecto a su efecto ergogénico, existen estudios sobre la utilización del fosfato sódico para evitar la fatiga muscular, tanto en esfuerzos aeróbicos como anaeróbicos, pero los resultados no son concluyentes dadas las diferencias entre las dosis, la periodicidad, las referencias a efectos secundarios o contraindicaciones, otras sustancias consumidas a la vez (cafeína), el nivel de condición física y el sexo. Se necesitan más trabajos de investigación[28,29,35,36].

No hay estudios concluyentes sobres su suplementación en la práctica deportiva a dosis fuera de los rangos de las IDR y los UL[146,149].

9.1.6. Hierro

El hierro es un componente esencial para el metabolismo celular. Forma parte de la hemoglobina y de la mioglobina, es cofactor en reacciones de oxidorreducción y en la síntesis de ADN, e interviene como transportador de oxígeno en el cuerpo y de electrones en las mitocondrias[163,164]. El resto (30%) del hierro corporal se encuentra almacenado en forma de ferritina y hemosiderina (en el bazo, el hígado y la médula ósea, principalmente), y en menor cantidad circulando en la sangre como componente de la transferrina.

La sideremia normal es de 50-150 µg/dl[130-132]. Se absorbe con mayor facilidad y en mayor porcentaje (25%) el hierro hemo que los iones ferroso y férrico, siendo este último el que mayor dificultad tiene para ser absorbido. El ácido clorhídrico facilita la conversión del hierro férrico a ferroso.

Los procesos del metabolismo del hierro están regulados por las cantidades absorbidas, sus depósitos corporales y la velocidad de la eritropoyesis[145].

En una dieta mixta de tipo occidental, con una ingesta media de este mineral estimada en 10-20 mg/día, el hierro contenido en la mioglobina y en la hemoglobina de los alimentos proteicos de origen animal representa un 10-15%. El procedente de alimentos vegetales es hierro férrico, que se convierte en ferroso durante la digestión para ser absorbido en un pequeño porcentaje, favorecido por la presencia de ácidos orgánicos, sobre todo por la vitamina C, y proteínas de origen animal ricas en cisteína.

La absorción a partir de la ingesta es de 0,5-1 mg/día y puede estar estimulada en situaciones de necesidad, como el embarazo o la disminución de las reservas orgánicas por algún proceso específico. Se consideran inhibidores de la absorción algunos componentes de los alimentos, como los taninos, los fitatos, los polifenoles (te, café, salvado) y el exceso en la ingesta de calcio y zinc, los bloqueantes H2 y los antiácidos.

Se calcula que existe una alta disponibilidad de hierro cuando se ingieren más de 90 g de proteína animal en una comida mixta con alimentos de origen vegetal que proporcionan hierro no hemo en cantidad adecuada, acompañados de más de 75 mg de ácido ascórbico[130,132,145,160].

La IDR para la población española adulta es de 10-18 mg/día (límite superior en las mujeres)[129], para la población adulta europea es de 11-16 mg/día (nivel superior en las mujeres en edad fértil) y para la población adulta norteamericana es de 8-18 mg/día (límite superior en las mujeres en edad fértil), con un límite máximo de 45 mg/día[131]. Para la población francesa está establecido un límite máximo de 28 mg/día (2,25 ANC-IDR). Debe tenerse en cuenta que un exceso de hierro puede aumentar el estrés oxidativo al incrementar los radicales libres, lo que puede incidir en el desarrollo de distintas afecciones[132]. En la UE, la recomendación diaria, a efectos de etiquetado de alimentos, es de 14 mg[129].

Según las estimaciones de la ingesta actual de hierro en los países europeos, el riesgo de efectos adversos por su consumo elevado a partir de fuentes de alimentos, incluidos los enriquecidos, pero no los suplementos, se considera bajo para la población en general. Sin embargo, la ingestión de suplementos alimenticios por hombres y por mujeres posmenopáusicas puede aumentar la proporción de la población con probabilidades de desarrollar indicadores bioquímicos de altas reservas de hierro. Algunos grupos poblacionales con un riesgo especial de presentar un estado pobre en hierro, como los niños y las mujeres que menstrúan, podrían beneficiarse de una ingesta adicional de este mineral o de una mejora en su disponibilidad en la dieta. Existe una excepción a la suplementación entre la población sensible (0,5%) para la hemocromatosis homocigota hereditaria, que son susceptibles a la sobrecarga de hierro, incluso a las ingestas normales en la dieta. Estas personas deben evitar tanto los suplementos como los alimentos altamente fortificados con hierro. La mayoría de los homocigotos no son diagnosticados o identificados, y no son conscientes de esta susceptibilidad hasta que se acumula suficiente hierro como para producir efectos adversos[1-3].

Con respecto a la práctica deportiva, se establece para la población francesa un límite superior de 28 mg/día (complemento de 6 mg cada 1.000 kcal suplementarias). También se cita que en los deportistas puede haber un déficit de hierro debido al tipo de deporte practicado (resistencia, actividades en altitud) y a factores ambientales (microhemorragias digestivas, subplantares, hematurias…)[132-135], considerándose necesarios incrementos sobre las IDR en el rango del 30-70%, con monitorización y control para evitar un efecto negativo sobre la salud y el rendimiento físico[34,146,149,165], sobre todo en casos de un estado de hierro subóptimo con ferritina sérica en los límites bajos de la normalidad[165].

Algunos autores recomiendan la suplementación de hierro para mantener la ferritina sérica en sus valores normales, así como la combinación de hierro con riboflavina, ya que es más efectiva para mejorar los índices hematológicos[160] que los suplementos de hierro solo.

Para evaluar las concentraciones en sangre de este mineral se recomienda realizar los controles pasados 3 o 4 días de la realización de esfuerzos físicos de larga duración y gran sudoración, dada la hemoconcentración que tiene lugar en esta situación, con un incremento

de los valores de referencia normales que puede falsear los resultados y llevar a una interpretación errónea de la situación[166].

No hay estudios concluyentes sobre su suplementación en la práctica deportiva[150,151,157,158]; solo hay informes sobre fatiga y bajo rendimiento deportivo en caso de disminución del hierro en sangre y anemia.

9.1.7. Zinc

El zinc es un catión divalente que participa en numerosos sistemas enzimáticos[167,168] con el grupo prostético que lo contiene (anhidrasa carbónica, fosfatasa alcalina, deshidrogenasa alcohólica, carboxipeptidasas, oxidorreductasas), y es necesario para la síntesis proteica y de ácidos nucleicos. Participa en reacciones con el hierro, el cobre, el magnesio y el calcio. Interviene en funciones antioxidantes al formar parte de la enzima superóxido dismutasa dependiente de cobre/zinc[132] y protege la peroxidación lipídica al inhibir la formación de complejos hierro/oxígeno con el ácido enoico[150]. Su deficiencia restringe la renovación celular y el crecimiento[144]. Se absorbe entre el 3% y el 38% procedente de la dieta, correspondiendo al rango superior el zinc de origen alimentario en dietas con proteínas animales. La presencia de ácidos orgánicos favorece su absorción, y la dificultan el calcio y los fitatos[132].

La IDR para la población española adulta es de 15 mg[4] y para la europea es de 7,5-16,3 mg (en relación directa con la ingesta de fitatos)[1], con un límite máximo de seguridad de 25 mg/día en Europa y 40 mg/día en los EE.UU.[2,3,10]. La toxicidad crónica del zinc se asocia con síntomas de deficiencia de cobre (anemia, neutropenia, alteración de la inmunidad), evidentes solo tras el consumo de zinc en forma de suplementos dietéticos a dosis de 150 mg/día durante periodos prolongados; la dosis con la que no se observan efectos secundarios (NOAEL, *no observed adverse effect level*) es de alrededor de 50 mg/día. A esta dosis tampoco se detectan efectos adversos claros, cuando la ingesta de cobre es adecuada, sobre el metabolismo de las lipoproteínas, el perfil sanguíneo y las cifras de leucocitos[3,10].

El zinc se ha relacionado con la profilaxis del resfriado común (disminución de la incidencia y de la duración), como cofactor enzimático de células inmunitarias, a dosis de 75 mg en forma de acetato de zinc suministrado durante las primeras 24 horas de la aparición de los síntomas del resfriado. Sin embargo, dada la heterogeneidad de los datos obtenidos en la revisión sistemática que lo cita y los efectos secundarios (mal gusto y náuseas), no es prudente su recomendación[169], además del riesgo de superar el NOEL establecido para el zinc.

Como suplemento ergogénico, hay un estudio con jugadoras de voleibol, a dosis de 220 mg/día de sulfato de zinc por vía oral durante 4 semanas, que no aporta datos sobre una mejora del rendimiento ni sobre marcadores que valoren los efectos a las dosis de riesgo empleadas[170].

Puede concluirse que no hay evidencia para la suplementación en la práctica deportiva en cantidades fuera de los límites superiores de los rangos de las IDR y los UL[3,149].

9.1.8. Selenio

Es metabólicamente activo como selenoproteína[132], siendo sustituido el azufre por el selenio, principalmente en la cisteína. Forma parte de diversas enzimas[132], como la glutatión peroxidasa (antioxidante que protege las estructuras celulares de la acción de los peróxidos lipídicos y de los radicales libres), las selenodesoyodasas tipos I (D1), II (D2) y III (D3) (interviniendo en el metabolismo de las hormonas tiroideas)[171], la enzima tiorredoxina reductasa (antioxidante que regenera las formas reducidas de las vitaminas C y E)[132], entre otras acciones. Interviene en la síntesis de las prostaciclinas[145]. No hay mecanismos de regulación en su absorción, que es del 80% y de manera preferente en la forma orgánica. Se encuentra en el hígado, los riñones, el páncreas y los músculos. Las fuentes alimentarias son el pescado, el huevo, la carne y el queso.

La IDR para la población española adulta es de 50-70 µg/día (límite superior en los hombres)[129] y para la población adulta norteamericana es de 55 µg/día, con un límite máximo de 400 µg/día[131]. Para la población francesa se recomienda 1 µg/kg al día, con un límite máximo de 150 µg/día (2,3 ANC-IDR)[132]. En la UE, la recomendación diaria, a efectos del etiquetado de alimentos, es de 55 µg[155], y el UL es de 300 µg[133].

Hay trabajos que han estudiado la respuesta del estrés oxidativo a los antioxidantes, incluido el selenio, pero hay controversia en los resultados. Se observa mejoría en algún caso, aunque con fiabilidad dudosa por la variabilidad de la población en estudio y la no especificidad de los ensayos (tipo de ejercicio, entrenamiento, dosis, sin o con otros suplementos como vitamina E, glutatión o cisteína, y periodicidad)[172].

No hay estudios concluyentes sobre su suplementación en la práctica deportiva[150,151,157,158,173-175], aunque se establece para la población francesa activa un límite superior de 150 µg/día (complemento de 30 µg/día cada 1.000 kcal suplementarias)[132,135].

9.1.9. Manganeso

El manganeso es un elemento esencial[176,177] de metaloenzimas mitocondriales (piruvato-carboxilasa, superóxido-dismutasa) y activador de algunas cinasas, descarboxilasas, hidrolasas y transferasas. Mediante transporte proteico específico se distribuye con mayor afinidad en los tejidos ricos en mitocondrias, el cerebro, el hígado, el páncreas y el riñón. Su biodisponibilidad no es bien conocida por las dificultades para su estudio. Las concentraciones plasmáticas de manganeso no varían entre los sujetos con disminución o aumento del mismo.

Los alimentos que lo contienen en mayor cantidad son de origen vegetal: cereales completos, frutas, verduras, leguminosas y té. No se considera que exista riesgo de deficiencia si se sigue una dieta equilibrada. Los valores bajos de este mineral se han relacionado con alteraciones en su metabolismo, con clínica de convulsiones en la edad infantil, dermatitis, alteraciones capilares y cambios en los factores de la coagulación dependientes de la vitamina K. No existen datos sobre su toxicidad por una ingestión oral en cantidades inferiores a 10 mg/día, pero puede ser tóxico si se inhala o se administra por vía parenteral (neurotoxicidad)[130,145]. La Organización Mundial de la Salud (OMS) considera como cantidad diaria ingerida sin efectos adversos hasta 11 mg/día (0,06 mg/kg de peso corporal)[178]. La IDR para la población francesa es de 1 mg para las mujeres y 2 mg para los hombres, y para la población adulta norteamericana es de 1,8 mg en las mujeres y 2,3 mg en los hombres, con un límite máximo de 11 mg/día[131]. En la UE, la recomendación diaria, a efectos del etiquetado de alimentos, es de 2 mg[155], y se considera una ingesta adecuada de 3 mg para personas adultas.

No hay estudios concluyentes sobre su suplementación en la práctica deportiva[150,151,157,158,173-175]. No obstante, en Francia, para la población que realiza un esfuerzo moderado u ocasional, se establece la misma

cantidad que en la población general y un aporte extra de 0,6 mg por cada 1.000 kcal suplementarias, con un límite de 3,5 mg/día[132,135], sin que esté justificado superar esta cifra[5,179].

9.1.10. Cromo

El cromo es un mineral que, en forma trivalente, es cofactor en las reacciones en las que interviene la insulina, y es necesario para el correcto metabolismo de la glucosa[180]. Su absorción intestinal es del 0,5-2%. La concentración tisular de cromo disminuye con la edad, excepto en los pulmones.

No se considera un elemento con potencial riesgo de déficit dentro de una dieta variada y equilibrada. Los alimentos que garantizan mejor su biodisponibilidad son el hígado de ternera, algunas variedades de queso, el germen de trigo y la levadura de cerveza.

Al no existir métodos fiables para la determinación del cromo en sangre, es difícil estimar sus necesidades y evidenciar el estado de déficit. De forma indirecta puede constatarse su insuficiencia si los pacientes con resistencia a la insulina mejoran mediante la suplementación de cromo en cantidades fisiológicas. La clínica por deficiencia, en pacientes con nutrición parenteral prolongada, se manifiesta por resistencia relativa a la insulina y neuropatía central o periférica. La administración de 10-15 µg previene la deficiencia. No se han encontrado signos de deficiencia ni de toxicidad con el consumo de 50-200 µg/día. Se ha encontrado un riesgo asociado de padecer cáncer bronquial en trabajadores expuestos a polvo de cromo[130,145].

Los estudios sobre la ingesta media de cromo trivalente en distintos países europeos, incluida España, evidencian unos rangos de 30-400 µg/día, muy por debajo de la ingesta a la que se han encontrado alteraciones de la salud (1 mg/día). Esto no es aplicable para el picolinato de cromo[2].

La IDR para la población francesa es de 55 µg para las mujeres y 65 µg para los hombres, y para la población adulta norteamericana es de 25 µg en las mujeres y 35 µg en los hombres[131]. En la UE, la recomendación diaria es de 40 µg para el etiquetado de alimentos[155]. Las IDR de algunos países europeos (Inglaterra, Alemania, Suiza) se sitúan en 23-100 µg[2,3].

En la práctica deportiva, para la población francesa con un esfuerzo moderado u ocasional se establece la misma cantidad que en la población general y un aporte extra de 20 µg por cada 1.000 kcal suplementarias, con un límite máximo de 120 µg/día[132].

No hay estudios concluyentes sobre su suplementación en la práctica deportiva intensa[150,151,157,158,173-175].

9.1.11. Cobre

Se encuentra formando parte de la ceruloplasmina (ferrooxidasa) y de metaloenzimas como la citocromo-c-oxidasa, la monoaminooxidasa, la tirosinasa, la lisiloxidasa y la superóxido dismutasa. Interviene en el metabolismo del hierro (síntesis de la transferrina), la mineralización ósea, el mantenimiento del colágeno y de la elastina, la regulación de neurotransmisores, la inmunidad, el metabolismo oxidativo de la glucosa, sobre todo en el miocardio, y la eliminación de radicales libres a través de la superóxido dismutasa[181]. Esta última se utiliza como marcador del balance de cobre en el organismo.

Su absorción es de un 30-40%, favorecida por las proteínas y disminuida por la vitamina C, los disacáridos y el exceso de hierro y zinc. Se encuentra principalmente en el hígado, el cerebro, el corazón y los riñones. Los alimentos más ricos en cobre son el hígado, el marisco y el pescado, las nueces, el cacao, las semillas (trigo, avena), la soja y las verduras. No se considera un elemento con potencial riesgo de déficit dentro de una dieta variada y equilibrada en las personas adultas. Se ha evidenciado hipocupremia en niños desnutridos con alimentación láctea prolongada, en pacientes con alimentación parenteral exclusiva y en pacientes con enfermedades debidas a trastornos del metabolismo del cobre o que cursan con deficiencia en ceruloplasmina[130,132,145]. La clínica en los estados carenciales es de anemia macrocítica hipocrómica, neutropenia, desmineralización ósea y alteraciones de la pigmentación cutánea.

La IDR para la población francesa es de 1,5 mg para las mujeres y 2 mg para los hombres, y para la población adulta norteamericana es de 0,9 mg, con un límite superior de 10 mg/día[131]. En la UE, la recomendación diaria es de 1,3-1,6 mg (adultos), y a efectos del etiquetado de alimentos es de 1 mg[155], con un UL de 5 mg[133].

En la práctica deportiva se establece, para la población francesa con un esfuerzo moderado u ocasional, la misma cantidad que en la población en general y un aporte extra de 0,6 mg por cada 1.000 kcal suplementarias, con un límite máximo de 3,5 mg/día[132-135].

No hay estudios concluyentes sobre su suplementación en la práctica deportiva más intensa[150,151,157,158,173-175], y no está justificado su aporte más allá de las IDR y los UL[146,149].

9.1.12. Yodo

El yodo desempeña un papel importante en la liberación de energía, en la producción de hormonas tiroideas y en la función nerviosa y cognitiva[182]. La IDR para la población española adulta es de 110-140 µg/día (límite superior en los hombres)[129]. Tanto en Francia como en la UE, la IDR es de 150 µg/día[132,155], con un UL de 600 µg/día[133]. En la población adulta norteamericana se fija una IDR de 150 µg/día, con un límite máximo de 1.100 µg/día[131]. Fuentes de yodo son los pescados de agua salada, los crustáceos, los lácteos y la sal yodada.

Para la población francesa que realiza un esfuerzo moderado u ocasional se establece un aporte adicional de 50 µg por cada 1.000 kcal suplementarias, hasta un límite de 300 µg[132]. Con respecto a la práctica deportiva intensa, no se ha demostrado hasta ahora la necesidad de suplementación a pesar de sus pérdidas por el sudor, ya que no existe correlación entre la disminución del rendimiento físico y su déficit[183,184].

9.1.13. Boro

El boro es un oligoelemento poco estudiado en relación a su biodisponibilidad, requerimientos, deficiencia y toxicidad en los seres humanos. Se encuentra de forma natural en las aguas subterráneas y en el medio ambiente, y son los alimentos de origen vegetal los que más lo contienen. En el agua potable, la cantidad de boro es de 0,1-0,3 mg/l; las concentraciones varían según la geología local y los vertidos de aguas residuales (detergentes). La OMS ha estimado que la cantidad aceptable de boro en el agua es de 0,5 mg, y que la ingesta diaria tolerable es de 0,16 mg/kg[178]. Su suplementación se ha relacionado con la prevención de la osteoporosis en las mujeres posmenopáusicas, por incrementar las concentraciones plasmáticas de estradiol y testosterona, lo que puede sugerir un efecto anabolizante no suficientemente demostrado[150,157]. Puede desempeñar también un papel en la

mejora de la función cerebral, la artritis y el perfil lipídico en plasma[175]. Su carencia afecta al metabolismo del calcio y del magnesio[130,151]. En cuanto a su toxicidad, se ha relacionado con efectos negativos sobre la espermatogénesis[145,178].

Para la población adulta norteamericana se establece un límite máximo de seguridad de 20 mg/día[131], mientras que en la UE este límite es de 10 mg/día[133,185].

No hay estudios concluyentes sobre su suplementación en la práctica deportiva[150,151,175].

En general, los suplementos de minerales no se recomiendan sistemáticamente en los deportistas, a menos que se identifiquen deficiencias en una valoración nutricional. Es importante que la persona que hace deporte comprenda que la ingesta de suplementos no puede revertir una dieta inadecuada, mientras que una dieta bien elegida puede garantizar el máximo beneficio de la suplementación prescrita y contribuir en la prevención de patologías y situaciones adversas[10,34,41,146-148,153].

9.2. Vitaminas

Las vitaminas son compuestos orgánicos que se encuentran en pequeñas cantidades en los alimentos. No pueden ser sintetizadas por el organismo y no son fuentes directas de energía. Sirven para regular los procesos metabólicos, facilitar el metabolismo energético y los procesos neurológicos, y prevenir la destrucción celular.

Las vitaminas se clasifican en hidrosolubles o liposolubles, según su solubilidad en agua o grasa, respectivamente.

Las vitaminas hidrosolubles incluyen el conjunto de las vitaminas del grupo B (tiamina, riboflavina, niacina, piridoxina, cianocobalamina, ácido fólico, ácido pantoténico y biotina), entre cuyas funciones está regular el metabolismo energético, y la vitamina C, que actúa como antioxidante. Como son solubles en agua, en caso de una ingesta excesiva son eliminadas por la orina.

Las vitaminas liposolubles son la A, la D, la E y la K. Un exceso de ingesta puede ocasionar toxicidad. Los β-carotenos (precursores de la vitamina A) y la vitamina E actúan como antioxidantes. La vitamina D interviene en el crecimiento y la mineralización de los huesos. La vitamina K participa en la coagulación sanguínea y en el metabolismo óseo.

Diversos estudios han demostrado que determinadas vitaminas pueden ser beneficiosas para la salud, pero pocos han indicado directamente un valor ergogénico para el rendimiento deportivo.

Algunas vitaminas, como la E y la C, pueden favorecer la tolerancia al esfuerzo durante el ejercicio físico por sus propiedades antioxidantes, o por su acción sobre el sistema inmunitario. En los últimos años ha aumentado el número de estudios sobre el papel de la vitamina D en la función metabólica del músculo esquelético, la prevención de lesiones, la mejora del rendimiento neuromuscular y el control de la fatiga. Teóricamente, estas propiedades podrían ayudar a aumentar la resistencia al entrenamiento de alta intensidad y optimizar el rendimiento[186].

En los deportistas que consumen una dieta variada y equilibrada, con un aporte de calorías adecuado, no parece que el resto de las vitaminas tengan un valor ergogénico destacable.

Los deportistas que consumen dietas muy bajas en calorías con el fin de perder peso y mantener un porcentaje de grasa pequeño pueden correr el peligro de presentar déficits, no solo energéticos, sino también vitamínicos, por lo que podrían beneficiarse de una suplementación con vitaminas (a dosis adecuadas) junto con HC y proteínas durante los periodos de entrenamiento intenso[1,187-190].

A continuación, se analizan en detalle las funciones y los posibles beneficios ergogénicos de las distintas vitaminas.

9.2.1. Vitaminas hidrosolubles

9.2.1.1. Tiamina o vitamina B1

Participa en reacciones importantes en la obtención de energía[191], como por ejemplo en la eliminación del dióxido de carbono en las reacciones de descarboxilación desde el piruvato a acetil coenzima A (acetil-CoA) y en el ciclo de Krebs. También participa en la síntesis de la acetilcolina.

Teóricamente podría mejorar el umbral anaeróbico. Su déficit puede disminuir la eficiencia de los sistemas energéticos y, por tanto, el rendimiento físico.

La IDR es de 1,2 mg/día en los varones y 1,1 mg/día en las mujeres en los EE.UU.[186], y 1,1 mg en la UE a efectos del etiquetado, con una ingesta de referencia para la población (PRI, *population reference intake*) de 0,1 mg/MJ. En los deportistas se admite una ingesta de hasta 2 mg/día.

No parece que la suplementación mejore el rendimiento siempre y cuando los deportistas tengan un consumo calórico normal[191,192]. No obstante, el informe del CCAH de 2011[149] contempla la posibilidad de enriquecer con vitamina B1 los alimentos dietéticos altos en energía para deportistas y, en caso de que se realice la adición, recomienda que esta sea de al menos 0,05 mg/100 kcal (o de 0,2 mg/100 g de HC).

9.2.1.2. Riboflavina o vitamina B2

Participa como coenzima en las reacciones de obtención de la energía y contribuye a la reducción del cansancio y la fatiga[193]. De forma teórica, aumenta la disponibilidad de energía durante el metabolismo oxidativo, al tiempo que protege las células del estrés oxidativo.

La IDR es de 1,3 mg/día en los hombres y de 1,1 mg/día en las mujeres en los EE.UU., y de 1,4 mg en la UE a efectos del etiquetado, con un PRI de 1,6 mg.

En un estudio[194] realizado en un número pequeño de corredores de ultradistancia se observó que la suplementación con riboflavina (dos tomas de 100 mg) produjo una disminución del dolor y del cansancio muscular durante la realización de la prueba, al finalizarla y en la recuperación los días posteriores, en comparación con un grupo control que tomó un placebo. A pesar de este estudio, la opinión general de los diversos autores es que no parece que la suplementación mejore el rendimiento físico siempre y cuando los deportistas mantengan una dieta adecuada[191,192,195].

9.2.1.3. Piridoxina o vitamina B6

Participa en el metabolismo de las proteínas y también es necesaria para la producción de algunos neurotransmisores, como la serotonina, la dopamina y la noradrenalina. Contribuye a mantener una liberación adecuada de energía y a reducir el cansancio y la fatiga[196].

Se ha comercializado como suplemento que mejora la masa muscular, la resistencia física y la potencia aeróbica. También se ha propuesto que puede optimizar la resistencia mental.

La IDR es de 1,3 mg/día en los EE.UU., con un máximo de 100 mg/día[131]. En la UE se recomienda una ingesta de 1,4 mg a efectos de etiquetado[197]. Su PRI es de 1,6-1,7 mg[155], con un UL de 25 mg[133].

En los deportistas bien nutridos no mejora la capacidad aeróbica ni disminuye la acumulación de ácido láctico[91,192,198].

La vitamina B6, en combinación con las vitaminas B1 y B12, puede aumentar los valores de serotonina y mejorar las habilidades motoras y disminuir la ansiedad, motivo por el que se ha recomendado en deportes de precisión, como tiro olímpico y tiro con arco[193].

Existen algunos estudios que indican que una inadecuada ingesta de estos micronutrientes puede afectar al sistema inmunitario de los deportistas, aunque las investigaciones todavía son limitadas[199-201].

9.2.1.4. Cianocobalamina o vitamina B12

Funciona como una coenzima que participa en la producción de ADN, en la síntesis de proteínas y de eritrocitos, y en la formación de serotonina. La vitamina B12 también contribuye a la liberación de energía y a la reducción del cansancio y la fatiga[202,203].

Los deportistas estrictamente vegetarianos (veganos) pueden presentar riesgo de depleción de esta vitamina, lo que podría afectar a la eritropoyesis y causar anemia megaloblástica.

La IDR es de 2,4 µg/día en los EE.UU.[131], y en la UE, a efectos del etiquetado, es de 2,5 µg, con una ingesta adecuada de 4 µg/día[155]. La Organización para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la OMS establecieron una recomendación de 2,4 µg y un UL de 1000 µg[204].

En los deportistas bien nutridos no se ha observado ninguna mejora del rendimiento ni efecto ergogénico con su suplementación[198].

9.2.1.5. Ácido fólico o vitamina B9

El ácido fólico funciona como coenzima en la producción de ADN y de glóbulos rojos. Contribuye a la reducción del cansancio y de la fatiga[205]. Su deficiencia produce una replicación anormal en el sistema eritropoyético que causa anemia megaloblástica, al igual que el déficit de vitamina B12.

La IDR en los EE.UU.[131] y en la UE[155] es de 400 µg/día, con un máximo de 1.000 µg. En la UE, el VRN es de 200 µg, y el PRI para adultos es de 330 µg de equivalentes de folato dietético, que corresponden a 200 µg de ácido fólico en alimentos enriquecidos o a 165 µg de ácido fólico en complementos alimenticios.

El aumento de la ingesta antes de la concepción y en el embarazo puede disminuir la incidencia de malformaciones fetales. También parece disminuir los valores altos de homocisteína, asociados a arteriosclerosis y a procesos degenerativos[206].

En deportistas con déficit de folato, pero sin anemia, su suplementación no mejora el rendimiento físico[190].

9.2.1.6. Niacina, ácido nicotínico o vitamina B3

Participa en el metabolismo energético formando parte de coenzimas y contribuye a la reducción del cansancio y de la fatiga[207].

La IDR en los EE.UU. es de 16 mg/día en los hombres y 14 mg/día en las mujeres de equivalentes de niacina (incluye la formada a partir del triptófano), con un máximo de 35 mg/día de niacina preformada contenida en los alimentos[131]. En la UE se recomiendan 16 mg de niacina preformada a efectos del etiquetado[155], con un UL de 900 mg como nicotinamida y de 10 mg como ácido nicotínico[133,185].

La suplementación con niacina puede ayudar a reducir las concentraciones de lípidos en sangre, lo cual puede disminuir la aterosclerosis. Sin embargo, también puede elevar la homocisteína, con efectos opuestos[190].

Su suplementación durante el ejercicio físico parece que disminuye la capacidad de rendimiento, por bloquear la movilización de AG y producir de forma indirecta un aumento de la utilización de glucógeno y del cociente respiratorio en esfuerzo[196].

9.2.1.7. Biotina, vitamina B7 o vitamina H

Esta vitamina participa en el metabolismo energético y en la utilización de macronutrientes[208].

Mientras que la IDR en los EE.UU. es de 30 µg/día[131], en la UE se recomiendan 50 µg/día a efectos del etiquetado[155] y una ingesta adecuada de 40 µg.

No se conoce ninguna investigación acerca de los efectos de la suplementación con biotina sobre el rendimiento físico[209].

9.2.1.8. Ácido pantoténico o vitamina B5

El ácido pantoténico contribuye a la liberación de energía y a la reducción del cansancio y de la fatiga[210,211].

En los EE.UU. se establece una IDR de 5 mg/día[131], mientras que en la UE se recomiendan 6 mg/día a efectos del etiquetado[155] y la ingesta adecuada es de 5 mg.

No se conoce ninguna investigación acerca de los efectos de la suplementación con ácido pantoténico sobre el rendimiento físico.

9.2.1.9. Vitamina C o ácido ascórbico

Participa en funciones biológicas de gran importancia, como son la síntesis de epinefrina y la absorción del hierro; además, es un potente antioxidante[190]. Las funciones de la vitamina C son muy variadas, ya que interviene en la liberación de energía, en el buen funcionamiento del sistema inmunitario, en la protección contra los radicales libres, en la mejora de la absorción del hierro, en el buen funcionamiento del sistema nervioso, en la salud de los huesos y de las articulaciones, y en la reducción del cansancio[18,212].

La depleción de vitamina C puede afectar negativamente diversos aspectos del rendimiento físico, y causar fatiga, debilidad muscular y anemia.

La IDR en los EE.UU. es de 90 mg/día para los hombres y de 75 mg/día para las mujeres, con un máximo de 2.000 mg/día[131]. En la UE se recomienda una ingesta de 80 mg a efectos del etiquetado[156] y el PRI es de 95-110 mg (mujeres y hombres adultos).

La altitud, las temperaturas elevadas y el ejercicio físico parecen aumentar las necesidades de vitamina C.

La suplementación con vitamina C en deportistas con una adecuada nutrición no parece mejorar el rendimiento físico[195].

Como vitamina con propiedades antioxidantes, hay evidencias que indican que la suplementación con vitamina C (500 mg/día) cuando se realiza ejercicio intenso puede prevenir y disminuir la incidencia de infecciones de las vías respiratorias altas y mejorar la inmunidad[213]. El

umbral mínimo de suplementación recomendado por la EFSA para el mantenimiento del sistema inmunitario, durante y después de un ejercicio físico intenso, es de 200 mg/día.

No hay evidencia sobre su eficacia en el tratamiento de las infecciones de las vías respiratorias altas.

Una suplementación con gelatina (5-15 g), vitamina C (50 mg) y colágeno (10 g/día) parece que podría incrementar la producción de colágeno y disminuir el dolor articular[5,214-216].

9.2.2. Vitaminas liposolubles

9.2.2.1. Vitamina A o retinol

Forma parte constituyente de los pigmentos visuales y está involucrada en la visión nocturna. También es importante su función antioxidante. Participa en el buen funcionamiento del sistema inmunitario y en el metabolismo del hierro[217].

La vitamina A se almacena en el hígado en grandes cantidades, por lo que su déficit es raro. Su ingesta excesiva puede ser tóxica y producir perturbaciones metabólicas y daño hepático.

La ingesta recomendada en los EE.UU., como equivalentes de retinol, es de 900 µg/día en los hombres y 700 µg /día en las mujeres[131], y en la UE es de 800 µg/día a efectos del etiquetado[155], con un PRI de 650-750 mg (en adultos). En ambos territorios, el UL es de 3.000 µg y a partir de la menopausia es de 1.500 µg.

El interés por su suplementación se basa en su capacidad antioxidante, pero es mayor el riesgo por su toxicidad.

No existen evidencias de que la suplementación con vitamina A mejore el rendimiento físico[198].

9.2.2.2. Vitamina E o α-tocoferol

Actúa como antioxidante[218] evitando la formación de radicales libres, influye en la respuesta celular frente al estrés oxidativo durante el ejercicio intenso, previene la destrucción de glóbulos rojos y parece que mejora la liberación de oxígeno al músculo durante el ejercicio[190]. Las fibras de tipo I (de contracción lenta) tienen una mayor concentración de α-tocoferol que las fibras de tipo II.

En los EE.UU., la ingesta recomendada, como equivalentes de α-tocoferol, es de 15 mg/día, con un máximo de 1.000 mg/día[131]. En la UE se recomienda una ingesta de 12 mg a efectos del etiquetado[155], con una ingesta adecuada de 11-13 mg (adultos) y un UL de 300 mg[155].

Las investigaciones realizadas indican que la suplementación con vitamina E puede disminuir el estrés oxidativo inducido por el ejercicio. También se estudia su posible sinergia con la vitamina C[28,219]. Algunas evidencias sugieren que puede disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

Aunque se necesitan más estudios para confirmar su papel sobre el rendimiento y la tolerancia al entrenamiento deportivo[207], parece que su suplementación puede mejorar el rendimiento físico en altitud, pero no tendría efectos positivos a nivel del mar[215].

En el Consenso del Comité Olímpico Internacional[5] se informa sobre la falta de evidencias científicas del efecto beneficioso de esta vitamina en la mejora de la inmunidad en jóvenes sanos, aunque sí hay evidencias en ancianos frágiles. También se indica que dosis elevadas pueden ser prooxidativas[5].

9.2.2.3. Vitamina D o calciferol

Incrementa la absorción del calcio y del fósforo, e interviene en el crecimiento y la mineralización de los huesos, en la función muscular y en el sistema inmunitario[220,221].

La IDR es de 5 µg/día en los EE.UU., con un máximo de 100 µg/día[131]. En la UE se recomiendan solo 5 µg/día a efectos del etiquetado[133,155]. No obstante, la EFSA ha establecido un valor adecuado de 15 µg/día[222], y en la UE el UL es de 100 µg[223].

La suplementación con vitamina D (15 µ) y calcio (400 mg) puede prevenir la pérdida ósea en deportistas susceptibles de presentar osteoporosis, y disminuir el riesgo de fracturas de estrés.

No existe consenso sobre la concentración de vitamina D que determine la deficiencia, la insuficiencia o los límites adecuados, aunque se acepta de manera general usar el metabolito circulante 25-hidroxivitamina D como reflejo de la situación de los depósitos de esta vitamina en el organismo, ya que es el resultado de una primera hidroxilación hepática que sufren tanto la forma sintetizada por la piel como la forma ingerida con la dieta[224].

La sociedad de endocrinología de los EE.UU. y la Fundación Internacional de Osteoporosis han propuesto como criterio de normalidad 30 ng/ml[225,226].

Las cifras de vitamina D se clasifican en normales (>30 ng/ml), insuficiencia (20-30 ng/ml), deficiencia (10-20 ng/ml) y deficiencia grave (<10 ng/ml).

La necesidad de suplementación dependerá sobre todo de la exposición a la luz solar y del tipo de piel de los deportistas (clara u oscura).

Se ha observado deficiencia en deportistas y soldados, sobre todo en los meses de invierno y en los deportes *indoor*. El déficit se asocia con un aumento de las infecciones de vías respiratorias altas[227,228].

Los datos y los estudios sobre los efectos de la suplementación con vitamina D en la función muscular y la mejora de la recuperación son contradictorios, pero de forma global parece que hay evidencias de su papel importante en el proceso de adaptación al ejercicio intenso y en la recuperación muscular. Se aconseja su determinación sistemática[5,215].

9.2.2.4. Vitamina K

Interviene en la coagulación de la sangre y también afecta al metabolismo óseo[229].

La IDR en los EE.UU. es de 120 µg/día en los hombres y 90 µg/día en las mujeres[131]. En la UE se establece en 75 µg la ingesta recomendada a efectos del etiquetad[155], y una ingesta adecuada de 70 µg en adultos.

La suplementación con vitamina K a dosis altas (10 mg/día) en mujeres deportistas de alto nivel parece que mejora el balance entre la formación y la reabsorción ósea[230].

No existe información sobre sus efectos en el rendimiento deportivo.

9.3. Ácidos grasos

Durante muchos años, el tejido adiposo ha sido considerado como un depósito inerte de grasa sin participación alguna en la síntesis ni en la movilización de esta. Hoy se sabe que en este tejido existen enzimas activas, y que hay hormonas adipocinéticas o lipolíticas que tienen como función movilizar la grasa del tejido adiposo.

En reposo, el músculo obtiene la mayor parte de su energía de la oxidación de los ácidos grasos (AG) libres circulantes, cuya concentración es baja, pero que tienen una gran velocidad de renovación (una molécula de AG no dura en la sangre más allá de 2 minutos).

Durante el trabajo muscular prolongado, la proporción de grasa oxidada aumenta de manera importante al cabo de cierto tiempo, convirtiéndose el tejido adiposo en una fuente casi inagotable de energía: el depósito graso total puede estimarse en unas 135.000 kcal[231], suficientes para correr varias decenas de maratones seguidos.

A lo largo de la actividad física continua, el sistema endocrino desempeña un papel fundamental, ya que hay un aumento inicial de cortisol que incrementa la lipólisis y ahorra glucosa. Cuando el cortisol disminuye (en etapas intermedias de los esfuerzos prolongados), su papel en la glucogenólisis y la gluconeogénesis lo asumen las catecolaminas y la hormona del crecimiento. El deportista que entrena en disciplinas de medio fondo y de fondo, al incrementar el volumen de entrenamiento, lo que hace es aumentar la eficiencia del sistema endocrino y de los ciclos metabólicos de obtención de energía a partir de los AG[232].

9.3.1. Clasificación de los ácidos grasos

Desde un punto de vista nutricional, los lípidos considerados son los triglicéridos, los fosfolípidos y el colesterol, y se caracterizan porque contienen AG en su estructura.

Los AG se clasifican según el número de dobles enlaces (grado de insaturación), el número de átomos de carbono (longitud de cadena) y su esencialidad. Así, aquellos AG que no presentan dobles enlaces se denominan AG saturados, mientras que los que cuentan con dobles enlaces en su estructura son denominados AG insaturados y se subdividen en monoinsaturados (con una insaturación) y poliinsaturados (con dos o más dobles enlaces). Asimismo, los AG se clasifican en cis o trans de acuerdo con la configuración de estos dobles enlaces. Según el número de átomos de carbono existen AG de cadena corta (hasta 6 átomos de carbono), media (8-12 átomos de carbono), larga (14-18 átomos de carbono) y muy larga (≥20 átomos de carbono)[233]. Por último, los AG linoleico y α-linolénico son considerados esenciales, al no poder ser sintetizados en el organismo debido a la ausencia de las enzimas desaturasas delta 12 y 15[234], mientras que el ácido palmitoleico y el ácido oleico son no esenciales[235].

Además, los AG insaturados se dividen en cuatro series omega (n) dependiendo del AG a partir del cual son sintetizados, y su nomenclatura hace referencia a la posición del primer doble enlace desde el extremo del grupo metilo[236]. De este modo, la serie n-3 deriva del ácido α-linolénico (18:3), la n-6 del ácido linoleico (18:2), y las series n-7 y n-9 del ácido palmitoleico (16:1) y del ácido oleico (18:1), respectivamente.

Los AG son los precursores de los eicosanoides, que son moléculas que constituyen una de las redes de comunicación celular más complejas del organismo. El cuerpo humano puede sintetizar los AG de las familias omega-7 y omega-9, pero no los de las familias omega-6 y omega-3. Entre ellos están los ácidos linoleico y araquidónico (ambos omega-6), y los omega-3, el α-linolénico, el eicosapentaenoico (EPA) y el docosahexaenoico (DHA). Los vegetales, en cambio, pueden sintetizar los precursores de las familias omega-6 y omega-3, y algunos de ellos (especialmente las algas marinas microscópicas) pueden sintetizar los derivados de la familia omega-3.

La EFSA[237] estableció unas ingestas de referencia de 10 g para el ácido linoleico, de 2 g para el ácido α-linolénico y de 250 mg para EPA + DHA, y una ingesta adecuada[238] de un 4% de la energía total, del 0,5% de la energía total y de 250 mg, respectivamente.

9.3.2. Ácidos grasos insaturados y deporte

En los vertebrados, como los humanos, los AG no pueden ser transformados en glucosa por gluconeogénesis, ya que estos organismos no pueden convertir la acetil-CoA en piruvato, y por ello, conceptualmente, la energía necesaria para la realización de esfuerzos deportivos debe provenir, mayoritariamente, de los HC.

Se han realizado estudios sobre la adaptación a corto plazo de los deportistas a una dieta rica en grasas y baja en HC. Los resultados demostraron que, aunque los deportistas de competición pudieron realizar ejercicios aeróbicos de alta intensidad con tasas de oxidación de grasas muy elevadas, estas por sí solas no pueden sostener el ejercicio a los niveles de potencia que requieren más del 60-65% del VO_2max, incluso en deportistas altamente entrenados y adaptados a una dieta rica en grasas. Además, la percepción del esfuerzo en los deportistas alimentados con este tipo de dietas resultó muy superior frente a la misma carga con una alimentación equilibrada[239]. La conclusión fue que una dieta elevada en grasas y baja en HC no mejora el rendimiento deportivo.

Otra cuestión es si el consumo de cierto tipo de grasa, como los AG de rápida absorción, mejora el rendimiento en esfuerzos prolongados. Sin embargo, el intento de ingerir AG de cadena media (de rápida absorción) no ha dado resultado. Hay una razón fisiológica para ello, basada en la velocidad de renovación de los AG disponibles para su uso energético, ya que a pesar de su pequeña concentración en sangre, su transporte entre el tejido adiposo y el resto del organismo es enormemente activo. Se calcula que en una persona en reposo hay un transporte diario de unos 180 g de grasa entre el tejido adiposo y el resto de los tejidos del organismo.

Se ha observado que la disminución en la fluidez de la membrana eritrocitaria inducida por el ejercicio físico se minimiza cuando se ingiere una mezcla de vitaminas y AG n-3, al menos en estudios realizados en caballos[240]. Este estudio deja abierta la puerta a un doble mecanismo de acción de los AG n-3 en relación con el estrés oxidativo potenciado por el ejercicio físico.

9.3.2.1. Ácidos grasos poliinsaturados omega-3 y rendimiento deportivo

En lo que respecta a los AG poliinsaturados n-3, el ácido α-linolénico, el EPA y el DHA son los más abundantes en la dieta[241]. Además, el ácido docosapentaenoico es un AG emergente, aunque menos conocido, que presenta actividad biológica y potenciales beneficios sobre la salud[242].

La ingesta media de AG esenciales es de 7-15 g/día, y la de ácido araquidónico es de 100-200 mg/día[243]. Sin embargo, los estudios realizados en humanos reflejan un déficit de AG n-3 evidenciado en datos de sus concentraciones plasmáticas, en membranas de plaquetas y en tejidos procedentes de autopsias.

El consumo recomendado para los deportistas es de 1-2 g/día, con un cociente EPA:DHA de 2:1[244], cifra a la que no llega en general esta

población[245,246]. La ingesta máxima diaria segura de la suplementación de EPA + DHA es de 5 g[247].

En lo que respecta al rendimiento deportivo, los resultados observados no son concluyentes. Así, la suplementación en ciclistas con 2,0 g/día de EPA y 0,4 g/día de DHA durante 6 semanas no supuso una mejora del rendimiento en pruebas de 10 km[248], ni el consumo de 1,6 g/día de EPA y 1,04 g/día de DHA durante 10 semanas en futbolistas mostró tener efecto sobre la potencia aeróbica y anaeróbica o el rendimiento de carrera[249]. Por otro lado, la ingesta de 0,1 g/kg al día de un suplemento de n-3 (70% de EPA, 20% de DHA y 2% de ácido docosapentaenoico) durante 4 semanas, aunque no produjo una mejora de fuerza, la potencia ni la velocidad en futbolistas, sí aumentó la capacidad de resistencia anaeróbica[250].

Ahora bien, según distintos trabajos, la ingesta de diferentes cantidades de EPA y DHA en deportistas entrenados supone un menor consumo de oxígeno durante el ejercicio[251-254].

En cuanto a los aspectos cognitivos, se ha observado que la suplementación con aceite de pescado rico en DHA a dosis de 3,5 g/día durante 4 semanas lleva a una mejora significativa en el tiempo de reacción[255], lo que podría ser interesante en deportes en los que la toma de decisiones sea una de las claves del éxito.

Se ha comprobado que un incremento de las especies reactivas durante el ejercicio puede alterar la función contráctil y el desarrollo de fuerza, y favorecer la fatiga. El efecto de la suplementación con AG poliinsaturados n-3 sobre el estrés oxidativo inducido por el ejercicio es ambiguo, lo que puede deberse a los distintos protocolos de estudio, con numerosas diferencias, como la duración, el tipo y la dosis de suplementación, los momentos de valoración de los resultados, los marcadores de estrés oxidativo empleados y en el nivel de forma física de los sujetos estudiados.

La suplementación con 0,3 g/día de EPA y 2,1 g/día de DHA durante 12 semanas redujo el estrés oxidativo generado por el ejercicio en ciclistas de nivel competitivo y *amateur*[256], siendo la dosis umbral de 0,15 g/día de EPA y 1,05 g/día de DHA al suplementar durante 4 semanas[257]. En el mismo sentido, la suplementación con 1,3 g/día de EPA y 0,3 g/día de DHA durante 6 semanas supuso una reducción del estrés oxidativo inducido por el ejercicio excéntrico[258]. Sin embargo, este efecto protector no se ha observado en todas las investigaciones[259-260].

En cuanto al músculo, la complementación con n-3 se ha relacionado con una mejora de la síntesis de proteína muscular y de la función muscular, una reducción del daño inducido por el ejercicio y una menor inflamación tras el ejercicio[261,262], aunque no en todos los estudios se han obtenido los mismos resultados[263].

En población veterana existe una creciente evidencia de mejora muscular al suplementar con AG poliinsaturados n-3. El consumo de 1,86 g/día de EPA y 1,5 g/día de DHA durante 8 semanas supuso una mejora en la síntesis de proteína muscular[261], y la misma dosis durante 6 meses aumentó la masa y la fuerza muscular[264]. Además, en respuesta a una carga aguda de ejercicio de fuerza, el consumo de 3,9 g/día de AG poliinsaturados n-3 durante 16 semanas incrementó la síntesis de proteína muscular[265].

En mujeres deportistas veteranas se ha observado que la suplementación con 0,4 g/día de EPA y 0,3 g/día de DHA durante 12 semanas mejora la activación muscular y la capacidad funcional[266,267].

En cuanto al daño muscular inducido por el ejercicio, se ha observado que incorporar 0,55 g/día de EPA y 0,55 g/día de DHA a una bebida de recuperación (WP, leucina y HC) reduce las cifras de creatina fosfocinasa en futbolistas tras un ejercicio excéntrico[268], y que el consumo de 0,3 g/día de EPA y 1,5 g/día de DHA durante 30 días en jugadores de baloncesto en silla de ruedas supone una reducción de la lactato deshidrogenasa[269].

También se ha visto que el consumo de 1,16 g/día de DHA durante 8 semanas reduce la síntesis de eicosanoides proinflamatorios en futbolistas[270].

Aunque existen numerosos estudios que no encuentran efecto de la complementación con EPA y DHA sobre la reducción de los marcadores inflamatorios tras la realización de ejercicio[248,258,271,272], hay algunas investigaciones realizadas en población sedentaria de ambos sexos que muestran resultados positivos tras la actividad física[273-277].

En lo que respecta a la modificación de la composición corporal, los AG poliinsaturados n-3 se han propuesto como efectivos en la pérdida de peso por una posible mejora en la oxidación de la grasa y un incremento del gasto energético[278,279].

Sin embargo, en individuos con sobrepeso y obesidad su suplementación no es efectiva para la reducción del peso[280]. En hombres y mujeres adultas sanas se ha observado una mejora de la composición corporal, sin modificación del peso, al suplementar con 1,6 g/día de EPA y 0,8 g/día de DHA durante 6 semanas[281]. No obstante, no existe evidencia de que esto mismo ocurra en deportistas de competición[282,283]. Ahora bien, en deportistas recreacionales se ha observado un incremento significativo del gasto energético al suplementar con 4 g/día durante 3 semanas[278], y también se han comprobado resultados similares en mujeres deportistas veteranas al suplementar con 2 g/día de EPA y 1 g/día de DHA durante 12 semanas[279].

Por último, en lo que respecta al sistema inmunitario, la suplementación con 2,0 g/día de EPA y 0,4 g/día de DHA durante 6 semanas en ciclistas no supone mejora alguna[248]. Ahora bien, la suplementación con 0,3 g/día de EPA y 1,5 g/día de DHA durante 60 días puede incrementar la actividad de proliferación de los linfocitos tras una carrera de maratón[284]. En deportes de menor duración también se han observado mejoras inmunitarias al emplear 0,3 g/día de EPA y 1,5 g/día de DHA durante 30 días[269], al igual que en mujeres ancianas al llevar a cabo entrenamiento de fuerza[285].

9.3.2.2. Ácidos grasos poliinsaturados omega 6 y rendimiento deportivo

No existen evidencias de que la suplementación con este tipo de AG mejore el rendimiento físico.

En la dieta occidental, la ingesta de ácido linoleico es elevada[235], circunstancia que, unida al consumo insuficiente de AG poliinsaturados n-3 observado en deportistas[245,246], favorece la formación de eicosanoides proinflamatorios y proagregantes a partir del ácido araquidónico[286]. Además, el elevado consumo de ácido linoleico también puede afectar la función endotelial[233]. Por tanto, controlar el consumo de ácido linoleico y de ácido α-linolénico, y sus respectivos metabolitos, es de interés nutricional en la población deportista. En este sentido, se ha sugerido que para una salud óptima debe asegurarse una relación n-6: n-3

de 4:1[287], siempre que la ingesta de ácido linoleico y de ácido α-linolénico no se encuentre dentro de las cantidades recomendadas[288].

9.3.2.3. Ácidos grasos monoinsaturados y rendimiento deportivo

No existen evidencias de que la suplementación con AG monoinsaturados n-7 y n-9 mejore el rendimiento físico, aunque sí hay evidencia de una mejora de diversos parámetros de salud derivados del consumo de AG monoinsaturados.

En el caso de los AG monoinsaturados n-7, se ha sugerido que podrían influir en la sensibilidad a la insulina, en la función endotelial y en la supresión de citocinas inflamatorias[289]. Además, se ha observado que un incremento de su consumo puede modificar los valores de colesterol ligado a lipoproteínas de baja densidad y de triglicéridos[290], por tanto, se recomienda incorporar a la dieta del deportista alimentos como nueces de Macadamia, aceite de hígado de bacalao, salmón, anchoas y aceite de oliva, entre otros.

En lo que respecta a los AG monoinsaturados n-9, al influir sobre condiciones inflamatorias, autoinmunitarias y del estrés oxidativo, son numerosos los efectos benéficos derivados de su consumo[291], en especial del aceite de oliva virgen extra. Este aceite es un alimento bioactivo de alta calidad nutricional y particular composición en AG, vitaminas y polifenoles, con beneficios tanto en personas con enfermedades crónicas[292] como en individuos sanos[293,294].

La recomendación de consumo de grasas en la dieta del deportista, entre ellas los AG monoinsaturados, no difiere de lo recomendado en las guías de salud pública[182]. Hay que individualizar su consumo de acuerdo con el nivel de entrenamiento, los objetivos de composición corporal y el tipo de deporte practicado.

10. Otros componentes

10.1. Creatina

La creatina, también denominada ácido α-metil guanidino-acético, no es un AA, sino un compuesto orgánico nitrogenado del grupo de las aminas, no esencial, habitual en la dieta, ya que se obtiene principalmente a través del consumo de carne o pescado.

La creatina es sintetizada en el hígado, el páncreas y los riñones a través de los AA precursores, como la arginina, la glicina y la metionina.

El organismo humano precisa una cantidad total de creatina de 2 g/día, de los cuales el 50% es sintetizado en el propio organismo, mientras que el otro 50% debe ser aportado por la dieta.

La síntesis endógena se halla parcialmente inhibida cuando el consumo en la dieta es elevado o cuando se aporta como ayuda ergogénica.

Las mayores concentraciones de creatina en el cuerpo humano se encuentran en el músculo esquelético, con aproximadamente un 95% del contenido total de este compuesto. El 5% restante se reparte por otros tejidos, como el corazón, los espermatozoides, la retina y el cerebro, fundamentalmente[295].

La creatina precisa transportadores para que, vía sanguínea, pueda llegar desde los órganos de síntesis a la musculatura esquelética. Estos transportadores presentan gran variabilidad tanto en número como en función, y su eficacia se regula por la concentración de creatina y se ve incrementada por la presencia de insulina, vitamina E y ejercicio físico.

A través de la dieta es posible actuar sobre estos transportadores modulando su acción, de tal manera que la ingestión de AA, junto con suplementos de monohidrato de creatina, estimula la actividad de los transportadores de creatina y aumenta sus concentraciones plasmáticas. Asimismo, la ingestión de HC, al elevar la glucemia, estimula la secreción de insulina, lo que a su vez aumenta la captación de creatina por los tejidos[296].

En reposo, la creatina contenida en el músculo esquelético se encuentra en dos formas: creatina libre (40%) y creatina fosforilada o fosfocreatina (60%).

Cuando la creatina es fosforilada, no puede salir de la célula muscular porque los transportadores de la creatina discriminan entre ambas formas, y al no tener afinidad por la fosfocreatina, la concentración de esta no afecta el equilibrio entre la cantidad de creatina a un lado y otro de la membrana, con lo que se facilita su transporte hacia la célula a medida que esta se va degradando[297].

La fosfocreatina proporciona una rápida resíntesis de ATP en el músculo, y por tanto es una fuente de fosfato para regenerar ATP. De ahí que la disponibilidad de fosfocreatina suponga una limitación importante en ejercicios breves y de alta intensidad, ya que su depleción reduce la resíntesis de ATP.

La creatina, además, atenúa la acidosis intramiocitaria que ocurre en el músculo durante el ejercicio, puesto que utiliza los iones de hidrógeno intracelular para producir ATP y a través de este proceso disminuye la fatiga muscular.

Por tanto, puede decirse que la creatina tiene dos indicaciones: por un lado, como fuente de energía para esfuerzos de alta intensidad que duren 2-30 segundos, y por otro, como elemento reparador que disminuye la fatiga muscular.

10.1.1. Eficacia

La suplementación con creatina es una estrategia nutricional segura y efectiva para aumentar el rendimiento deportivo[298,299].

La creatina mejora el rendimiento deportivo cuando la actividad implica la realización de series repetidas de ejercicio de alta intensidad y corta duración. Por tanto, la mayor eficacia se observa en aquellos ejercicios que impliquen esprints repetidos que duren 2-30 segundos y separados por intervalos de recuperación cortos. En este sentido, hay estudios que hablan de una mejora de los esprints intermedios que tienen lugar en carreras largas cuando la suplementación de creatina se acompaña de una carga de HC[300].

La suplementación con creatina no actúa igual en todos los tipos de fuerza; su efecto está probado en contracciones dinámicas o isotónicas, pero no parece tan claro en fuerza isométrica o isocinética.

En cuanto a si actúa igual sobre la fuerza de los miembros superiores e inferiores, aunque hay trabajos en distintos sentidos[301,302], los últimos estudios parecen indicar una mejoría en la fuerza de los miembros superiores para ejercicios de menos de 3 minutos de duración.

En las personas de edad avanzada, la suplementación de creatina junto con un entrenamiento de fuerza consigue no solo aumentar la masa muscular, sino también la fuerza[303].

En ejercicios de resistencia aeróbica, la disponibilidad de glucógeno muscular limita el rendimiento. Hay estudios en los que se demuestra que la ingestión de 5 g de creatina durante 5 días, junto con HC, aumenta los depósitos de glucógeno muscular a las 24 horas del ejercicio[304]. Así, la mejoría en la recuperación justificaría la suplementación con creatina en deportes de resistencia aeróbica con el fin de optimizar la recuperación de glucógeno muscular entre sesiones de ejercicio.

No está clara la utilidad de la suplementación de creatina en el entrenamiento interválico de alta intensidad, y hay estudios que no han encontrado beneficio alguno[305].

Existe una gran variabilidad individual en la respuesta a la suplementación con creatina y hasta un 30% de la población no incrementa el contenido muscular de creatina en cantidad suficiente como para provocar cambios en el rendimiento deportivo. Por ello, se han realizado trabajos con el fin de describir el perfil fisiológico de los sujetos respondedores y no respondedores[306]. El grupo respondedor posee un perfil biológico muy específico, con bajos valores iniciales de creatina y fosfocreatina, mayor porcentaje de fibras de tipo II, una mayor área de sección transversal de las fibras musculares precarga y más masa magra. El grupo no respondedor presenta valores de creatina y fosfocreatina más altos, menos fibras musculares de tipo II, menor área de sección transversal de fibras musculares precarga y menos masa magra.

Además de los aspectos citados de variabilidad intraindividual en la respuesta a la suplementación con creatina, los resultados pueden ser distintos según la duración de la suplementación, el criterio de evaluación de los ejercicios y la pausa entre las series repetidas de ejercicios.

La EFSA ha informado favorablemente dos declaraciones de propiedades saludables para la creatina con una ingesta diaria de 3 g, equivalente a 3,41 g de monohidrato de creatina (véase el punto 4.2).

10.1.2. Protocolos de suplementación

El monohidrato de creatina (87,9% de creatina) es la forma más práctica para suplementar con creatina. Existen dos protocolos de administración de eficacia demostrada:

10.1.2.1 Protocolo de carga rápida

Se realiza durante 5-7 días, con una dosis de 20-30 g/día según el peso muscular de la persona (preferiblemente monohidrato alcalino), repartida en cuatro tomas a lo largo del día. A continuación, en la fase de mantenimiento se administran 3-5 g/día, en una sola toma, según el sujeto y la actividad que realice.

10.1.2.2. Protocolo de carga lenta

Con resultados similares al protocolo de carga rápida, corresponde al periodo de mantenimiento de este protocolo: 3-5 g/día (según el sujeto y la actividad), en una sola toma, durante 4 semanas.

Considerando que el pico de creatina plasmático se produce aproximadamente 1 hora después de su ingestión, el momento del consumo estará en función del tipo de entrenamiento:

- Entrenamientos de fuerza cortos e intensos: en los primeros instantes de entrenamiento, junto con una bebida deportiva con un 6-8% de HC.
- Entrenamientos más largos, de resistencia de fuerza o velocidad específica aplicada a una actividad deportiva: también durante el entrenamiento, junto con una bebida deportiva con un 6-8% de HC.
- Entrenamientos de resistencia con gran componente aeróbico: inmediatamente después del entrenamiento, aunque si el objetivo es favorecer la velocidad de transferencia energética intracelular durante el desarrollo de la actividad podría ingerirse 30-60 minutos antes[299].

Algunos estudios sugieren que la adición de HC a la suplementación con creatina puede aumentar los efectos de esta, ya que el gasto de creatina en el músculo está influenciado tanto por la cantidad de creatina muscular previa a la suplementación como por el incremento de la secreción de insulina estimulado por la glucosa[298].

En caso de que la creatina se ingiera con una solución de glucosa, deberá tenerse en cuenta que el pico máximo de concentración de creatina plasmática se alcanzará a los 90 minutos y con valores menores que cuando se suplementa sola, ya que la secreción de insulina causa una rápida captación de creatina por los tejidos[307].

Tras un periodo de suplementación de 5 días de carga y 30-90 días de mantenimiento, los valores de creatina en el organismo humano pueden quedar elevados hasta 30 días o más una vez suspendida la toma[308].

Se ha especulado sobre la posible acción perjudicial de la cafeína en la absorción intestinal y la retención de creatina en la célula, debido a su efecto diurético, que afectaría al grado de hidratación de los deportistas, especialmente de aquellos con gran desarrollo muscular. Sin embargo, esto solo se produce en el caso de la ingestión conjunta de ambas sustancias, ya que si se toman en momentos diferentes los efectos ergogénicos de la creatina no se ven alterados por la cafeína, dado que esta no tiene efectos negativos sobre los transportadores de creatina[297,309].

Es importante señalar que el músculo tiene un límite máximo de almacenamiento de creatina (en torno a 150-160 mmol/kg), por encima del cual el exceso de creatina carece de beneficio y se excreta por vía renal[143,302,310].

10.2. β-hidroxi-β-metil-butirato

La forma estable y comercial del HMB es su sal cálcica, es decir, el β-hidroxi-β-metil-butirato de calcio. El HMB es un metabolito natural de la leucina (AA esencial y ramificado), que se produce a partir del ácido α-cetoisocaproico y que influye en el catabolismo de las proteínas musculares, en la integridad de la membrana celular y en la estabilización del sarcolema[311].

El preparado comercial del HMB se presenta en forma de sal. Puede ser sal de sodio (Na-HMB) o sal de calcio (Ca-HMB), ambas hidrosolubles, con buena absorción tanto en el estómago como en el intestino. Se utiliza más el Ca-HMB porque precipita menos que el Na-HMB y, por tanto, puede mantenerse más tiempo seco, sin formar grumos y con una consistencia de polvo finamente dividido, lo que aumenta la estabilidad del producto, así como su digestibilidad y tolerancia[312].

El efecto anticatabólico de la leucina y del ácido α-cetoisocaproico parece estar regulado por el HMB, y se ha encontrado que la suplementación con HMB, o con HMB y calcio (1,5-3 g/día), reduce los marcadores del catabolismo muscular y promueve la ganancia de masa magra y de fuerza en sujetos sedentarios al iniciar el periodo de entrenamien-

to[313-315]. En los deportistas entrenados también se ha encontrado un incremento de la fuerza, aunque de pequeña magnitud y sin modificar la composición corporal[316]. Se ha observado un efecto del HMB en la diferenciación de las células musculares, que imita al que provoca el factor de crecimiento insulínico tipo1 (IGF-1), al menos en cultivos celulares[317]. Incluso se ha descrito un aumento del consumo de oxígeno tras la suplementación con HMB[318].

No todos los trabajos encuentran una mejoría en el rendimiento deportivo[319], o solo demuestran que el consumo previo al ejercicio puede provocar un menor incremento de la enzima lactato deshidrogenasa, lo que únicamente sugiere cierta protección contra el daño muscular producido por el esfuerzo físico[320].

La interpretación de todos estos datos no es fácil debido a las limitaciones de las técnicas de evaluación y a una falta de control sobre algunos parámetros que pueden influir en los resultados, como el sexo, la dieta o la carga de entrenamiento. La mayoría de estos estudios se han llevado a cabo en personas no entrenadas, por lo que cabe pensar que algunas de las modificaciones experimentadas podrían deberse al entrenamiento propiamente dicho más que a la suplementación con HMB. No parece claro que la eficacia se mantenga en personas entrenadas[321]; es probable que los efectos del HMB en esta población proporcionen mejores resultados sobre la masa magra y la fuerza mediante protocolos de mayor duración (más de 6 semanas), en los que generalmente provocan efectos positivos en la masa magra y en la fuerza[322].

La unión del entrenamiento de fuerza más la suplementación con HMB puede frenar el proceso de catabolismo muscular, en especial en los individuos poco entrenados. Se han descrito efectos positivos en la recuperación de lesiones en personas mayores sedentarias tras el empleo de HMB, por lo que se sugiere que la suplementación con este compuesto, junto con un programa de trabajo de fuerza adaptado, sería adecuada para combatir la sarcopenia en la población de edad más avanzada.

La toma de HMB da lugar a aumentos significativos de esta sustancia en suero y en orina, aunque no hay diferencias significativas en los marcadores sistémicos del estado anabólico/catabólico[323]. Solo en pacientes oncológicos se han comunicado datos relacionados con una disminución de la pérdida de masa muscular[324,325].

Por lo tanto, hay evidencia de que el HMB puede mejorar las adaptaciones al entrenamiento en personas que lo inician. Sin embargo, se necesitan más investigaciones para determinar si puede mejorar las adaptaciones al entrenamiento en deportistas muy entrenados.

10.2.1. Mecanismo de acción propuesto

Uno de los posibles mecanismos de acción del HMB es a través de la estimulación de la síntesis proteica mediante la activación del IGF-1. La unión del IGF-1 con su receptor (mTORC1) inicia una cascada de eventos que llevan a un incremento en el tamaño de la célula muscular, con efecto anabólico. La suplementación con HMB no solo atenúa la degradación de proteínas, sino que además incrementa su síntesis a través de un efecto directo sobre la vía anabólica del mTOR. Sin embargo, no es el único mecanismo que explica los efectos del HMB, que posiblemente no estén mediados principalmente por rutas anabólicas, sino por una disminución en la proteólisis del músculo esquelético[326].

10.2.2 Protocolos de uso

Se presupone que la eficacia biológica del HMB, al igual que la de la creatina, se intensifica mediante el trabajo de fuerza; esto hace que el momento más indicado para su administración sea antes del inicio de un programa de entrenamiento de fuerza.

Los picos máximos más rápidos de HMB en plasma se consiguen con la ingesta de 3 g, con una retención del 71-86%. Su vida media es de aproximadamente 2,5 horas y alcanza otra vez sus valores basales a las 9 horas de su administración.

La mayoría de los estudios publicados concluyen que la dosis de HMB más segura y eficaz para suplementar y obtener el máximo beneficio, sea cual sea el grupo de población (jóvenes, adultos, hombres, mujeres, entrenados o no entrenados), es de 3 g/día, repartidos en dos tomas: la primera una media hora antes del inicio del entrenamiento y la segunda media hora después de finalizar el entrenamiento[327].

10.2.3. Efectos secundarios

En los diversos estudios realizados, tras la ingestión de HMB no se han observado cambios negativos en los marcadores asociados a la función renal y la función hepática, ni en los índices hematológicos, por lo que se concluye que a dosis de entre 3 y 6 g/día, durante 8 semanas, el HMB no produce efectos secundarios[328,329].

10.3. Carnitina

La carnitina es una amina cuaternaria sintetizada en el hígado, los riñones y el cerebro a partir de dos AA esenciales, la lisina y la metionina, con ayuda del hierro y de las vitaminas C, B3 y B6. Se encuentra en algunos alimentos, principalmente en la carne de cordero y ternera, pero también en la fracción sérica de los lácteos, el aguacate y el germen de trigo.

Su distribución en el organismo presenta depósitos bien delimitados en el retículo sarcoplasmático de las células del tejido muscular cardiaco y en la musculatura esquelética.

La L-carnitina o butirato (betahidroxil [gamma-N-trimetilamonio]) tiene un papel definido en el metabolismo intermediario. Es un elemento indispensable para la penetración de los AG de cadena larga en las mitocondrias de las células, donde posteriormente se oxida.

La carnitina entra en la célula a través de la membrana plasmática mediante un transportador de carnitina. La enzima carnitina palmitoil transferasa I transforma los AG de cadena larga activados en acilcarnitinas, que son transportadas a través de la membrana mitocondrial interna mediante la carnitina acilcarnitina translocasa. La carnitina palmitoil transferasa II, situada en la membrana mitocondrial interna, transforma las acilcarnitinas en acil-CoA y libera la carnitina, que sale de la mitocondria mediante la translocasa. Por su parte, los AG, al separarse de la de la carnitina, experimentan beta-oxidación y generan ATP. Los AG de cadena media y corta no precisan del sistema de transporte de la carnitina y pasan directamente a la mitocondria.

Con todo, la L-carnitina, además de intervenir en la oxidación de los AG, es una importante fuente de energía, protege a la célula de la acumulación de acil-CoA al generar acilcarnitinas y favorece la oxidación de los AA de cadena ramificada[330].

Dado su papel fundamental en la oxidación de los AG y en el metabolismo energético, se ha investigado la función de la L-carnitina como

ayuda ergogénica para mejorar la capacidad de ejercicio en la población deportista sana, basándose en que podría aumentar la participación de los AG como sustratos energéticos en el ciclo de Krebs, disminuyendo la necesidad de glucógeno, lo que supondría una mayor disponibilidad de energía durante la actividad deportiva.

Los diversos estudios realizados[31-335] han llegado a la conclusión de que la L-carnitina no es un quemador de grasa, ya que su aporte no acelera el consumo de grasa, ni en reposo ni durante el ejercicio. Sin embargo, en investigaciones con ratas[336] se ha visto que la administración de L-carnitina incrementa el metabolismo de las grasas y la biogénesis mitocondrial, mientras ahorra glucógeno muscular, durante el ejercicio de larga duración, lo que da lugar a una mejora del rendimiento. También en ratas se ha visto cómo la suplementación con L-carnitina disminuye el estrés oxidativo y mejora el metabolismo de la glucosa y de los lípidos, mediante la regulación de la expresión del ARNm de los receptores activados por proliferadores peroxisomales tipo gamma y los transportadores de glucosa tipos 2 y 4[337]. De la misma manera, y siempre en estudios con ratas, se ha visto un efecto ergogénico asociando la suplementación con L-carnitina con una dieta rica en grasas[338].

Sin embargo, no hay trabajos que evidencien que la suplementación con L-carnitina durante el ejercicio aumente el consumo máximo de oxígeno, mejore la oxidación de AG, ahorre glucosa o retrase la fatiga muscular en humanos[330,339]. La suplementación con carnitina no ha mostrado una mejora del rendimiento en ninguna disciplina deportiva[340-342], ni se ha podido demostrar su carácter ergogénico con el entrenamiento interválico de alta intensidad[343].

Hay estudios que sugieren que la ingestión de L-carnitina puede disminuir tanto el grado de hipoxia producida durante la realización de ejercicio como el daño tisular posterior y el dolor muscular tardío[344-347].

Algunos trabajos proponen la suplementación con L-carnitina durante la recuperación del ejercicio para mejorar el estado antioxidante total[348,349].

La forma activa de la carnitina es exclusivamente la L-carnitina, dato importante ya que muchos productos comercializados contienen DL-carnitina, que tiene efectos parcialmente tóxicos. Sin embargo, en España[350] sí está permitida en complementos alimenticios la adición de L-carnitina y de su clorhidrato hasta un máximo de 2 g/día, y con L-tartrato hasta un máximo de 3 g/día.

La dosis más utilizada de L-carnitina es de 750-1.000 mg, 60 minutos antes de la realización de un ejercicio aeróbico de duración no inferior a 30 minutos a un 50-75% de la intensidad máxima del individuo. Una suplementación diaria de hasta 2.000 mg (2 g/día) es segura.

Cuando se trata de la combinación de L-carnitina con L-tartrato, la dosis puede estar entre 1.000 y 4.000 mg, y en el caso de l-carnitina con propionil pueden administrarse entre 400 y 1.000 mg.

Solo existe evidencia de clase B de que la L-carnitina ejerza un papel lipolítico en las mujeres con un porcentaje de grasa superior al 20%, y en los hombres si es superior al 15%.

10.4. Mezclas de aminoácidos ramificados

Los AA ramificados (leucina, isoleucina y valina) siguen siendo unos de los suplementos más utilizados por los deportistas, a pesar de la falta de unanimidad sobre su eficacia y de que la dieta habitual suele aportar suficiente cantidad como para cubrir las necesidades.

No obstante, la ingestión de AA ramificados antes y después del ejercicio ha demostrado tener un efecto no solo anticatabólico, disminuyendo el daño muscular inducido por el ejercicio, sino también anabólico, estimulando la síntesis proteica[351] siempre que el grado de daño muscular sea de bajo a moderado[352,353], aunque en numerosos estudios con diferentes mezclas de AA ramificados no se ha evidenciado una mejora en el rendimiento deportivo de forma directa en distintos tipos de ejercicio[354].

La suplementación con distintas combinaciones de AA ramificados disminuye la fatiga a nivel central (inhibiendo la producción cerebral de serotonina), particularmente en esfuerzos con alta carga de calor ambiental. En ejercicios aeróbicos puede alargar el tiempo hasta el agotamiento, y este efecto es mayor en deportistas poco entrenados. Parece que la ingestión de AA ramificados disminuye la utilización de glucógeno (por aumento de la lipólisis).

La mayor parte de los trabajos con humanos han utilizado AA ramificados en cantidades mayores de 5 g, pero se desconoce la dosis óptima. Los estudios sobre la toxicidad de la suplementación con AA ramificados en modelos animales muestran que su uso es en general seguro, en especial cuando los tres AA se aportan en una relación similar a la que se encuentran en las proteínas animales[355]. Una pechuga de pollo de 100 g, por ejemplo, contiene aproximadamente 470 mg de valina, 375 mg de isoleucina y 656 mg de leucina.

El UL en adultos jóvenes y sanos se fija en 35 g/día (mayores cantidades aumentan el amoniaco en suero).

La dosis estándar para la isoleucina (usada para aumentar la captación de glucosa en las células) es de 48-72 mg/kg de peso corporal (en una persona no obesa), y la de leucina (que mejora la síntesis de proteína muscular) es de 2-10 g. Una dosis muy utilizada es la de 20 g de AA de cadena ramificada combinados con una proporción equilibrada de leucina, isoleucina y valina (expresada como A:B:C, donde A es la cantidad de leucina, B la de isoleucina y C la de valina)[356]. Prácticamente la mayoría de los suplementos ofrecen una relación de 2:1:1; esto es, por cada parte de valina e isoleucina, se aporta el doble de leucina (Tabla 5).

El Real Decreto 130/2018[350] autoriza la inclusión en los complementos alimenticios de L-leucina, L-isoleucina y L-valina en una cantidad máxima diaria de 3, 1,5 y 1,95 g, respectivamente, ya sea solos o en combinación. Para cantidades diarias superiores debe recurrirse al reconocimiento mutuo con otros países europeos.

Suelen recomendarse 10 g unos 20 minutos antes de iniciar el entrenamiento y, a veces, 10 g después de finalizarlo.

Tabla 5. Cantidad de aminoácidos ramificados habitualmente utilizada en suplementos.

L-leucina	2260 mg
L-isoleucina	1130 mg
L-valina	1130 mg

10.5. Otros aminoácidos y sustancias nitrogenadas

10.5.1. β-alanina

La β-alanina es un AA no esencial sintetizado en el hígado. Por sí misma no tiene efecto ergogénico, pero sí como precursor de la síntesis de carnosina (β-alanina y L-histidina) en el músculo esquelético humano. La carnosina mejora la contracción muscular, incrementando la sensibilidad del calcio miofibrilar en las fibras rápidas, e interviene en un 8-15% de la capacidad tampón intramiocito, reduciendo el efecto limitante del rendimiento relacionado con la acidosis[179,356,357].

Sobre la suplementación de β-alanina se han confirmado (grado de evidencia A) los siguientes efectos, con distintas pautas:

- Aumento significativo de las concentraciones de carnosina en el músculo, actuando así como tampón del pH intracelular.
- Mejora del rendimiento del ejercicio, con efectos más pronunciados en actividades que duran de 1 a 4 minutos, a dosis de 4-6 g/día durante al menos 2-4 semanas, con un aumento significativo de la carnosina del 20-30% al 40-60%, y tras 10 semanas un incremento aproximado del 80%.
- Reducción en los valores de carnosina, de alrededor de un 2% semanal, hasta llegar a valores de presuplementación, tras interrumpir su toma.
- Atenuación de la fatiga neuromuscular, en particular en sujetos mayores. Se consigue un efecto ergogénico moderadamente elevado combinando β-alanina con otras sustancias (carbonato sódico o creatina). Los resultados son más favorables cuando la dosis de β-alanina es suficiente (4-6 g/día) y la duración del tratamiento es de al menos 4 semanas[5].

Parece que la β-alanina no provoca alteraciones en poblaciones sanas a las dosis recomendadas.

El único efecto secundario evidenciado es sensación de parestesias en las extremidades, pero los estudios indican que puede atenuarse mediante dosis menores fraccionadas (1,6 g por toma, en 6-8 tomas) o fórmulas de liberación sostenida.

También se ha citado como efecto adverso la aparición de picores, pero se deben a la L-alanina de los suplementos conjuntos con β-alanina.

Se necesita más investigación para determinar los efectos del suplemento de β-alanina sobre la fuerza, el rendimiento de resistencia de más de 25 minutos de duración y otros aspectos relacionados con la salud[357].

10.5.2. Taurina

Es un AA azufrado (contiene un grupo azufre en lugar de un grupo carboxilo) considerado como esencial condicionado, ya que se convierte en esencial en determinadas situaciones o etapas de la vida. El organismo puede sintetizarlo a partir de la metionina y la cisteína utilizando la vitamina B6 como cofactor de la reacción enzimática.

Es uno de los AA más abundantes del organismo; después de la glutamina, es el segundo AA en forma libre que hay en mayor cantidad en el tejido muscular (cuatro veces más en las fibras tipo I), el corazón, el cerebro y las plaquetas. Es un componente de los ácidos biliares, donde se utiliza para la absorción de grasas y de vitaminas liposolubles. Así mismo, tiene efecto antioxidante y hay evidencias de que actúa como neurotransmisor, regulador del equilibrio homeostático del organismo, estabilizador de las membranas celulares (colabora en el paso de potasio, sodio, calcio y magnesio a través de ellas), estimula la función inmunitaria y participa en la desintoxicación de sustancias químicas extrañas[358].

Su interés en los deportistas se deriva de estudios que indican que la taurina actúa como "un imitador de la insulina" en el metabolismo de los HC y de las proteínas, de tal forma que altas concentraciones de taurina aumentan la actividad de la insulina plasmática, con lo que disminuye la glucosa sanguínea y se incrementa la reserva hepática de glucógeno. La taurina se une específicamente al receptor purificado de la insulina humana, de modo que puede afirmarse que sus propiedades hipoglucemiantes se deben a la interacción con el receptor insulínico[359].

Todas las formas de estrés provocan agotamiento de taurina y de glutamina muscular. La taurina ha demostrado prevenir la disminución de las proteínas estructurales presentes en el músculo esquelético. Tras estudios realizados con animales a los que se suplementaba la dieta con este AA, parece observarse una relación directa entre la taurina y el incremento de la síntesis proteica, deteniéndose la tasa de catabolismo producido por el estrés o por el entrenamiento intenso. También hay estudios que relacionan la toma de taurina con una disminución de la lesión muscular[360].

La taurina interviene en el mecanismo de excitación-contracción del músculo esquelético, lo que significa que afecta a la transmisión de la señal eléctrica hacia las fibras musculares. Esto tiene una gran importancia para asegurar un rendimiento muscular óptimo.

Parece existir una respuesta muscular específica con respecto a la taurina, ya que las fibras rápidas se afectan más que las lentas. Puesto que, en el ser humano, las fibras de contracción rápida muestran un mayor crecimiento como respuesta al entrenamiento con resistencias, es de esperar que la taurina colabore en el crecimiento de las fibras musculares cuando se une a un entrenamiento de alta intensidad.

En cuanto a su papel como estimulador de la función inmunitaria, parece claro que la taurina defiende al organismo de bacterias, virus y agentes químicos mediante la protección de la membrana celular, estimula las células natural killer y favorece la liberación de la interleucina I, ambas implicadas en la respuesta inmunitaria. La taurina, pues, actúa como un importante agente antioxidante y, como tal, mejora el normal funcionamiento de nuestro sistema de defensa[358].

La taurina es de utilidad en deportistas que realizan ejercicios aerobios para mejorar la carga de glucógeno tras agotar los depósitos. La dosis recomendada es de 0,5-1 g tres veces al día[361].

El rendimiento aeróbico puede mejorarse mediante la ingestión de una dosis única de taurina (evidencia grado B) en cantidades variables (1-6 g)[362], aunque según la EFSA no se ha establecido una relación de causa-efecto entre la ingesta de taurina y la función muscular o el retraso de la fatiga durante el ejercicio físico.

La taurina se tolera bien. No se conocen serios efectos colaterales a las dosis usuales de 1-3 g/día. Pacientes con enfermedad hepática han sido tratados con taurina a dosis de hasta 18 g durante 6 meses (para aliviar los calambres musculares, dolorosos), sin problemas aparentes. Según la EFSA, el NOAEL es de 1 g/kg de peso[363].

Sin embargo, el Real Decreto 130/2018 sobre complementos alimenticios[350] autoriza un máximo diario de taurina de 1 g, por lo que para cantidades diarias superiores debe recurrirse al reconocimiento mutuo con otros países europeos.

10.5.3. Glutamina

La glutamina es un AA derivado de otro, el ácido glutámico. Es el AA más abundante en el plasma y el músculo. La síntesis de glutamina en el músculo es mayor que la de cualquier otro AA. La razón de esta alta tasa de producción se basa en su papel como combustible para las células del sistema inmunitario y de la mucosa intestinal, y además participa también en la síntesis de purinas. Por tanto, se trata de un AA utilizado como suplemento adicional por los deportistas para mantener o mejorar la función inmunitaria. En este sentido, hay estudios que indican que en medios de cultivo adecuados, junto con glutamina, se produce un aumento de las células LAK (*lymphokine-activated killer*), e incluso se han realizado trabajos en los que, tras la administración de 10 g de glutamina por vía oral, se encuentran disminuciones de hasta el 40% en la posibilidad de desarrollar una infección de vías respiratorias altas[364].

En los años 1990 se identificaron los valores bajos de glutamina en plasma como indicador de sobreentrenamiento y fatiga. Siguiendo esta idea, hay trabajos que demuestran que el entrenamiento de resistencia puede aumentar las concentraciones plasmáticas de glutamina, lo cual mejoraría la capacidad de adaptación del sistema inmunitario[365].

La glutamina tiene un papel importante en el metabolismo de las proteínas, y de ahí que pueda tener un efecto antiproteolítico en los deportistas sometidos a entrenamientos muy intensos con gran destrucción muscular.

Se ha propuesto la administración de glutamina para evitar la aparición de fatiga, favorecer la recuperación de las fibras musculares, evitar procesos catabólicos en situaciones de estrés metabólico y, con ello, disminuir la incidencia de infecciones[366,367].

Solo hay dos colectivos en los que la suplementación parece estar bien fundada: los deportistas de fin de semana y los deportistas de alto nivel de entrenamiento. En ambos casos (y en las personas vegetarianas), puede considerarse la suplementación a la espera de investigaciones que corroboren un mayor grado de evidencia.

La glutamina se comercializa en forma de polvo o cápsulas para administración oral. Algunos protocolos indican que debería tomarse más de 1 hora antes del entrenamiento, o durante y después del mismo, para frenar el catabolismo proteico y contribuir al anabolismo muscular. Por tanto, habría que utiliza la suplementación al inicio de la temporada deportiva, en entrenamientos de altas exigencias catabólicas y en temporada intercompetitiva.

Como dato general, se habla de una dosis media de 5-10 g de glutamina al día, repartidos al menos en dos tomas, como mínimo 1 hora antes del entrenamiento o de la sesión deportiva, y después de la actividad, normalmente antes de acostarse. No es recomendable la toma de cantidades mayores de 15 g/día, que se considera la cifra límite. La administración se inicia con 30 mg/kg de peso al día en una sola toma, después de entrenar, para comprobar la tolerancia.

El Real Decreto 130/2018[350] autoriza en complementos alimenticios una ingesta diaria de hasta 5 g, por lo que para cantidades diarias superiores debe recurrirse al reconocimiento mutuo con otros países europeos.

Como AA que se presenta de manera natural, la glutamina se considera un complemento seguro a las dosis recomendadas. Sin embargo, las personas sensibles al glutamato monosódico deben usar la glutamina con precaución, a medida que el cuerpo metaboliza la glutamina en glutamato. De cualquier forma, parece que los efectos secundarios a corto plazo son mínimos y se conoce poco de los efectos secundarios de su uso a largo plazo.

10.5.4. Arginina

La L-arginina se considera un AA condicionalmente esencial, ya que es muy sensible a condiciones orgánicas de aumento de requerimientos proteicos, en los cuales su síntesis, a partir de la citrulina, puede estar comprometida. La arginina es un regulador de la expresión proteica. De hecho, la propia arginina regula de manera selectiva, y en función de su concentración, enzimas de su propio metabolismo[368].

La L-arginina, un precursor del óxido nítrico, ha mostrado reducir la concentración de lactato inducida por el ejercicio y ayudar en numerosas enfermedades cardiovasculares mediante la corrección de la disfunción endotelial. Sin embargo, la mayoría de los estudios realizados en humanos se han efectuado con un número muy pequeño de sujetos, lo cual no permite extraer conclusiones definitivas. De hecho, entre las investigaciones más recientes solo se demuestra una mejora de la capacidad aeróbica en la mitad de ellas[369].

Aunque todavía los estudios son escasos, puede decirse que la suplementación prolongada de L-arginina con L-aspartato en ejercicios submáximos incrementa la oxidación de las grasas, reduce los niveles de lactato sanguíneo y de la oxidación de la glucosa, y disminuye la frecuencia tanto cardiaca como de ventilación pulmonar. Esto implicaría un aumento de la capacidad de trabajo submáximo y de la tolerancia al ejercicio, aunque el grado de evidencia es bajo[370]. La suplementación de L-arginina y L-aspartato en alimentos dietéticos solo está permitida en aquellos destinados a usos médicos especiales.

En algunos trabajos se dice que la citrulina, la arginina y la ornitina producen un descenso de los valores de amoniaco en plasma, lo que incrementa la tolerancia del organismo al ejercicio intenso. También se ha descrito que estos AA aumentan la síntesis muscular de glucógeno y de glutamina, a la vez que disminuyen la de lactato y la de amoniaco[371], aunque los mismos autores indican que este efecto podría ser mínimo[372].

Por otro lado, a la arginina se le atribuye un efecto de estimulación de la hormona del crecimiento[373] y de la insulina, al tiempo que actúa como precursor de la creatina[374,375]. El problema es que el ejercicio por sí mismo aumenta la hormona del crecimiento más que la ingesta de arginina, y el ejercicio suplementado con arginina no incrementa la hormona del crecimiento más que el ejercicio solo[376,377].

La suplementación recomendada en deportistas que se recuperan de una lesión y permanecen inactivos es de 2-3 g por vía oral, tres veces al día.

No tiene efectos secundarios a dosis menores de 20 g/día, si bien una ingesta de esta magnitud solo se justifica para usos médicos especiales en pacientes con un alto grado de estrés metabólico.

Sin embargo, el máximo diario autorizado en complementos alimenticios en España[350] es de 3 g, por lo que si se requieren mayores cantidades diarias hay que recurrir al reconocimiento mutuo con otros países europeos.

La arginina no debe asociarse a lisina, pues son competidores. Debe emplearse con precaución en personas con asma, diabéticos, pacientes en tratamiento con anticoagulantes y enfermos hepáticos.

No se ha establecido su seguridad en el embarazo a dosis por encima de 20 g/día.

10.5.5. Ácido aspártico

El aspartato es un AA dicarboxílico glucogénico no esencial que interviene en la conversión en el hígado del amoniaco en urea.

Su empleo en el deporte se debe a su capacidad para disminuir la toxicidad del amonio en el interior de las células y a los efectos favorables sobre el ciclo de los ácidos tricarboxílicos[378]. Los mejores resultados se han conseguido en ratas, en las que aumenta el glucógeno muscular.

La disminución de la fatiga central y periférica, la mejoría en la oxidación de los AG y el estímulo de la motivación psicológica son las razones prácticas de su utilización por los deportistas. Según algunos estudios, dosis superiores a 7 g/día de L-D-aspartatos de potasio y magnesio podrían mejoran el rendimiento en los ejercicios de larga duración en personas no entrenadas y en animales[379], aunque estos hipotéticos beneficios no son extrapolables a los deportistas de competición[380,381], en los que no se han encontrado beneficios sobre el rendimiento físico en actividades de alta intensidad ni ahorro de la concentración de glucógeno muscular[382]. Aunque no hay evidencia clara de su efecto ergogénico, cuando se utiliza, se hace en entrenamientos aeróbicos y a dosis de hasta 10 g/día como máximo.

10.5.6. Leucina

En los últimos años se ha demostrado que los AA pueden activar una vía sensible a los nutrientes en sinergia con la insulina[383]. En este sentido, la leucina es el más eficiente de los AA, con la cualidad de producir un efecto anabolizante significativo cuando actúa en sinergia con los HC, lo que provoca la respuesta insulínica[384].

La ventaja de la leucina (de la que deriva el HMB) es que tiene efecto anabolizante incluso sin asociarla a otros preparados, porque parece afectar a la translación de RNAm y, por tanto, a la síntesis proteica con la modulación de múltiples marcadores.

Se ha demostrado que las bebidas de reposición que contienen leucina asociada a HC (maltodextrina) y proteínas (WP) tienen un importante efecto en la síntesis proteica después del ejercicio, superior al que se produce con bebidas de HC solos, con proteína sola, o con HC y proteína, pero sin leucina[385]. También se ha visto que la administración de leucina con proteína estimula la síntesis de proteína muscular posprandial en hombres de edad avanzada[386], y solo hay evidencia de tipo B en cuanto a si la suplementación con leucina atenúa la disminución de la masa muscular en mujeres mayores que realizan actividad física[387].

Durante el ejercicio aerobio se produce un significativo descenso de la leucina en el plasma (11-30%). También se reducen sus concentraciones durante el ejercicio anaerobio (5-8%), así como en los ejercicios de fuerza (30%). De hecho, durante el ejercicio aeróbico la disminución de las concentraciones de leucina en el músculo esquelético se encuentra en el mismo rango que el descenso de los depósitos de glucógeno muscular[388].

La leucina es de utilidad en deportistas que entrenan ejercicios de sobrecarga, a dosis de hasta 20 g/día como complemento, y no se han descrito efectos secundarios por su utilización. En el punto 10.4 ya se ha comentado el máximo diario autorizado en España para los complementos alimenticios.

10.5.7. Colina

La colina es una amina cuaternaria saturada, precursora del neurotransmisor acetilcolina, mediador en algunas sinapsis nerviosas, elemento estructural en las células, especialmente en las membranas celulares, y esencial en el metabolismo de las lipoproteínas implicadas en el transporte de las grasas. Se suele agrupar con las vitaminas del grupo B. En el ejercicio de resistencia de larga duración se comprometen varias de las vías descritas, lo que incrementa la demanda de colina como sustrato energético[389].

Tras el ejercicio intenso disminuye la acetilcolina[390], por lo que se supone que su administración estimularía la síntesis de acetilcolina y ayudaría a aminorar la sensación de fatiga en los deportes de resistencia. Sin embargo, esto no se ha comprobado en todos los estudios realizados[390,391].

El aporte de colina a través de la dieta suele ser suficiente, pero en la actividad deportiva de larga duración y gran intensidad los depósitos de colina descienden significativamente, y puede ser necesaria su suplementación para mantener el rendimiento y retrasar la aparición de fatiga. No hay evidencia de su utilidad como ayuda ergogénica.

En los EE.UU. se recomienda una ingesta diaria de 550 mg en los hombres y 425 mg en las mujeres, mientras que la EFSA ha establecido 400 mg como ingesta adecuada en personas adultas. En España[350] se permite la adición en complementos alimenticios de hasta un máximo diario de 1,5 mg de colina en forma pura, como cloruro, citrato o bitartrato.

10.5.8. Glicina

Es un AA no esencial, ya que puede sintetizarse en el organismo utilizando diferentes rutas metabólicas.

La ingestión diaria de esta sustancia se ha relacionado con la prevención de la artrosis y de otras enfermedades degenerativas, además de otras afecciones relacionadas con una debilidad de la estructura mecánica del organismo, incluida la dificultad de reparación de lesiones.

La mayor parte de los estudios se están llevando a cabo con la forma molecular unida de la propionil-L-carnitina y la glicina, esto es, la glicina propionil L-carnitina, que actúa como antioxidante y limita la producción de radicales libres, protegiendo al organismo contra la peroxidación lipídica. Interviene en la producción de energía, facilitando el transporte de AG de cadena larga a la mitocondria y la eliminación de sustancias de desecho.

La suplementación de glicina propionil L-carnitina puede incrementar el umbral anaeróbico, reducir la producción y la acumulación de ácido láctico en deportistas de resistencia, mantener el contenido de carnitina muscular en reposo y aumentar la producción de óxido nitroso, con lo que se mejoran el rendimiento y la recuperación tras el ejercicio físico. Distintos estudios han encontrado que la suplementación con glicina propionil L-carnitina mejora la capacidad de rendimiento anaeróbico[392,393].

Los efectos parecen estar directamente relacionados con la dosis (1,5-4,5 g/día), aunque hay resultados contradictorios[392,394] y el grado de evidencia de su eficacia no es elevado.

10.5.9. Inosina

Es un ribonucleósido de la hipoxantina, base nitrogenada de los ácidos nucleicos pertenecientes a las purinas.

Su efecto ergogénico se basa en su capacidad de aumentar la concentración de ATP y la captación de oxígeno en las células musculares, por estimulación de la producción de 2,3-difosfoglicerato, esencial en el transporte de moléculas de oxígeno desde las células sanguíneas hasta las musculares para la obtención de energía.

Se ha sugerido que en los deportistas, de disciplinas tanto de fuerza como de resistencia, la suplementación con inosina podría aumentar las concentraciones de ATP muscular, pero los estudios realizados no encuentran mejoras en el rendimiento aeróbico ni en el anaeróbico[395-397], e incluso se ha comprobado un efecto ergolítico[396] y se ha constatado un aumento de la concentración de ácido úrico[396,397].

El Real Decreto 130/2018[350] autoriza la inclusión de inosina 5-monofosfato y sus sales sódicas, así como la de otros cuatro ribonucleósidos (adenosina, citidina, guanosina y uridina) en complementos alimenticios hasta un máximo diario de 450 mg para el total de los cinco ribonucleósidos mencionados.

10.6. Cafeína, guaraná y té verde

10.6.1. Cafeína

La cafeína (1,3,7, trimetilxantina) es un alcaloide de la familia de las xantinas metiladas antagonista del receptor de la adenosina, que se encuentra en numerosas plantas, como el guaraná, con amplia distribución geográfica, y cuyo consumo forma parte de muchas culturas en forma de infusión como café o té, en bebidas con sabor a cola, incluso como chocolate y en diversos preparados farmacológicos. Tiene una fácil absorción oral, rectal y parenteral; tras su ingestión alcanza concentraciones máximas a los 60 minutos y tiene una vida media de eliminación de 2,5-10 horas. Su farmacocinética se ve afectada por muchos factores (alimentos, fármacos, etc.) y muestra una gran variación interindividual.

La extensa utilización de la cafeína se debe a la idea de que posee propiedades excitantes y antipsicóticas, que producen una estimulación del ánimo, y antisoporíferas, que disminuyen la fatiga y aumentan la capacidad de rendimiento físico[398]; seguramente por ello es el estimulante más común en las mal denominadas bebidas energéticas[399].

10.6.1.1. Eficacia ergogénica

Su uso como sustancia ergogénica se debe a los mecanismos de acción de la cafeína en la mejora del rendimiento físico[400]:

- Antagonismo de la adenosina y de sus receptores[401].
- Estimulación del SNC.
- Aumento de la movilización de los AG.
- Utilización de las grasas que disminuye el uso de HC y retrasa la depleción del glucógeno.
- Secreción de β-endorfinas, que disminuyen la percepción del dolor[402].
- Mejora de la función neuromuscular y de la contracción muscular esquelética[403].
- Mejora de la respuesta termorreguladora.

La suplementación con cafeína puede optimizar el rendimiento por una combinación de efectos sobre sistemas centrales y periféricos. Parece que actúa sobre el SNC como un antagonista de la adenosina, pero también tiene un efecto sobre el sustrato metabólico y sobre la función neuromuscular[2]. Esta mejoría del rendimiento depende, no obstante, de factores como la condición del deportista, el tipo de ejercicio realizado (modo, intensidad, duración) y la dosis de cafeína.

La cafeína ha demostrado que es efectiva en la mejora del rendimiento en diferentes tipos de actividad deportiva: de resistencia, de alta intensidad, deportes de equipo, actividades de fuerza-potencia e incluso ejercicios submáximos[404]. Según la EFSA, la administración de cafeína, 1 hora antes del ejercicio, a dosis de 3 mg/kg de peso corporal, incrementa la capacidad de resistencia, mientras que si se administran 4 mg/kg se reduce la percepción del esfuerzo realizado[405]. También es efectiva en la mejora del estado de alerta, del tiempo de reacción, del aprendizaje motor y de la memoria reciente[406]. Según la opinión de la EFSA, es necesario consumir una dosis de 75 mg de cafeína para mejorar la concentración y aumentar el estado de alerta.

10.6.1.2. Mejora del rendimiento en el ejercicio aeróbico

Hay una extensa documentación científica sobre la utilidad de la cafeína en el aumento del rendimiento deportivo durante el ejercicio aeróbico, controlada a través de diversos parámetros como aumento del tiempo de trabajo y del tiempo hasta llegar al agotamiento, mejora del pico de consumo de oxígeno en ejercicio submáximo y disminución en la percepción del esfuerzo, entre otros[5,400,407,408]. Estos efectos se han observado en diversos deportes, como ciclismo[409-412], pruebas de fondo en atletismo[413], natación[414], remo[415,416], tenis[417], triatlón[418] y baloncesto[419].

Además, hay tres metaanálisis[420-422] que confirman la optimización del rendimiento aeróbico mediante la suplementación con cafeína. Esta mejora del rendimiento es más destacable en sujetos bien entrenados. En las personas no entrenadas existen resultados contradictorios, ya que en unos trabajos no se encuentra mejoría[423,424] y en otros sí[413].

10.6.1.3. Mejora del rendimiento en el ejercicio anaeróbico

La utilización de cafeína en el ejercicio anaeróbico tiene resultados mucho menos consistentes, aunque hay diversos trabajos que encuentran mejoras en diversos aspectos del rendimiento anaeróbico, como en el esprint único o múltiple en ciclismo[425-427], el aumento de la velocidad en el esprint de natación[428] o la reducción de la fatiga en el esprint repetido en ciclismo[429].

La cafeína mejora diversos aspectos del rendimiento en actividades de fuerza, como el número de repeticiones[430] o el peso de las cargas utilizadas[431], aunque, al menos en sujetos no entrenados, algunos estudios no observan ningún beneficio[432]. En una amplia revisión[433] se ha encontrado una mejora del rendimiento en el ejercicio de fuerza en la mayor parte de los trabajos, especialmente en la fuerza y la potencia del tren superior[434], aunque otros no la encuentran, lo que se achaca a diferencias en los protocolos, las dosis de cafeína, el nivel de tolerancia, el uso previo de cafeína, el nivel de entrenamiento, el tamaño corporal, la edad, el sexo y la toma habitual de cafeína por parte de los sujetos estudiados.

10.6.1.4. Mejora del rendimiento en deportes de equipo

También se ha demostrado una mejora de diversos aspectos del rendimiento en deportes de equipo, como la habilidad en el esprint

único o repetido y el tiempo de reacción, o la mejora de la precisión en el pase de fútbol[426,435-438].

10.6.1.5. Protocolos, dosis y forma de administración

En el ejercicio aeróbico se ha visto que dosis bajas y moderadas de cafeína son efectivas para la mejora del rendimiento, de tal manera que a dosis de 2,1 mg/kg de peso corporal (unos 155 mg) es efectiva, y de 3,2 mg/kg (unos 230 mg) es más efectiva, pero una dosis de 4,5 mg/kg (unos 330 mg) no resulta más efectiva que la dosis anterior[439]. Administrando 2-9 mg/kg[417] se han conseguido mejoras en ejercicios de corta duración (regata de 2.000 m en remo), con reducción del tiempo en un 1% y aumento de la potencia en un 3%.

En general se admite que las dosis con que se alcanzan mejoras en el rendimiento se encuentran entre los 200 y 300 mg (3-6 mg/kg), y deben administrarse como cafeína pura, puesto que en infusión (como café) en las mismas dosis los resultados son peores[440]. Existen diferencias interindividuales secundarias a su farmacocinética y a factores ambientales y genéticos[441]. Dosis superiores a 9 mg/kg se aproximan al valor tóxico y pueden provocar efectos secundarios, como problemas gastrointestinales, insomnio, irritabilidad, arritmias y alucinaciones[442]. La ingestión de dosis bajas de cafeína después de un periodo sin consumo puede producir efectos ergogénicos similares a un consumo agudo. Dosis bajas iniciales, con aumentos paulatinos durante 3-4 días, permiten mantener la intensidad del entrenamiento. Además, su uso puede mejorar aspectos cognitivos, como la concentración, cuando el deportista no ha dormido bien[401].

Se ha estudiado el efecto de la habituación a la cafeína en los deportistas, con resultados contradictorios. Se ha encontrado ausencia de incremento del rendimiento en deportistas con consumo habitual de cafeína[443,444], aunque este resultado no se repite en todos los estudios[445]. Otros trabajos encuentran una mejora en el rendimiento de fuerza en los deportistas menos habituados a la cafeína[446], con mayor duración de los efectos de esta sustancia entre los menos habituados a su consumo[447]. Desde un punto de vista práctico, lo importante sería determinar la dosis adecuada para cada deportista de manera individual[400].

Se han utilizado dosis bajas de la cafeína (200 mg o 3 mg/kg) en formas alternativas a las cápsulas, café y bebidas deportivas, como goma de mascar, barras, geles, enjuagues bucales, bebidas energéticas (estimulantes) y aerosoles[448]. Algunas formas de administración, como la goma de mascar, permiten una absorción más rápida que las cápsulas, lo cual es importante en muchas situaciones deportivas. Se precisa más investigación para valorar los efectos de estas formas de administración de cafeína.

10.6.1.6. Contenidos de cafeína en productos

Existe una amplia distribución y una gran disponibilidad de la cafeína en infusiones, refrescos, bebidas energéticas (estimulantes), preparados farmacológicos como sustancia única o en asociación con otros principios, etc. En las infusiones de café (150 ml), el contenido de cafeína es de 106-164 mg en el café convencional, de 47-68 mg en el instantáneo y de 2-5 mg en el descafeinado. En las infusiones de té (240 ml), el contenido de cafeína es de 25-110 mg en el negro y de 8-36 mg en el verde. En el chocolate negro (28 g), el contenido de cafeína es de 5-25 mg. En las bebidas refrescantes de cola, el contenido es de 35-42 mg, mientras que en las bebidas energéticas (estimulantes) oscila entre 50 y 500 mg[449,450]. Hay un medicamento que contiene 300 mg de cafeína pura y varios productos en los que se encuentra en asociación con otros principios en contenidos de 30-200 mg[451].

10.6.1.7. Consideraciones

La cafeína, en dosis habituales, presenta efectos secundarios leves, como molestias gastrointestinales, ansiedad, cefalea, temblor, inquietud, nerviosismo, agitación psicomotora, dificultad de concentración, insomnio, irritabilidad, dependencia, taquicardia e hipertensión. En dosis excesivas puede favorecer la aparición de úlcera péptica, ataques epilépticos, coma e incluso la muerte[450,452]. Aunque la cafeína tiene un efecto diurético en reposo, este no se produce con el esfuerzo, por lo que no existe riesgo de hipohidratación durante la práctica deportiva[453,454].

En cualquier caso, las dosis únicas de cafeína de hasta 200 mg y las ingestas diarias de hasta 400 mg, repartidas durante el día, no plantean problemas de seguridad para los adultos sanos. Tampoco hay inconveniente en tomar cafeína (a las dosis reseñadas) menos de 2 horas antes del inicio de un ejercicio intenso[455].

10.6.2. Guaraná

El guaraná es el fruto de la planta *Paullinia cupana,* originaria de la Amazonía, cuyo componente más activo y abundante es la cafeína, a veces llamada guaranina. También contiene teofilina y teobromina[399]. Es un estimulante del SNC y sus efectos deben referirse a la cafeína que contiene.

Las cantidades de guaraná encontradas en bebidas energéticas (estimulantes) están por debajo de las que podrían suponer beneficios terapéuticos o causar eventos adversos[456], aunque algunos jóvenes han sido ingresados en urgencias con sobredosis de cafeína después de ingerir excesivas cantidades de este tipo de bebidas[457].

10.6.3. Té verde

El té verde se elabora a partir de las hojas secas no fermentadas de la planta *Camellia sinensis*. Los componentes predominantes del té verde son los polifenoles que pertenecen a la familia de las catequinas, y en menores cantidades contiene teanina, teaflavinas, tearubicinas, quercetina y cafeína[434].

Los efectos del té verde se deben fundamentalmente a su alto contenido en polifenoles, que en ratas ha demostrado ciertos resultados antiinflamatorios y antifatiga[458]. Además, aumentan la oxidación lipídica tras el ejercicio y el transportador de glucosa tipo 4 en el músculo, pero sin que se produzca resíntesis de glucógeno tras el ejercicio[459].

Respecto a los efectos del té verde sobre el rendimiento aeróbico, los resultados son contradictorios. No se encuentran mejoras en la resistencia aeróbica, pero hay resultados positivos en cuanto a la oxidación lipídica[434].

10.7. Antioxidantes

Un antioxidante es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras moléculas. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres que dañan las células y se asocian al denomi-

nado estrés oxidativo, relacionado con la patogénesis de enfermedades cardiovasculares, neurodegenerativas, neoplasias, etc.[460,461].

Los seres humanos tienen numerosos y complejos sistemas antioxidantes para protegerse de los radicales libres. Además, los pueden adquirir a través de los alimentos, como frutas, verduras, café y té.

La práctica de ejercicio físico aumenta el consumo de oxígeno de forma muy importante, lo que da lugar a un incremento en la producción de radicales libres, que pueden dañar los lípidos, las proteínas y el ADN, y producir alteraciones tisulares. Además, el ejercicio provoca fenómenos inflamatorios que a su vez originan más radicales libres.

El entrenamiento deportivo, y como consecuencia la mejora de las cualidades físicas, aumenta las enzimas antioxidantes y protege al organismo del estrés oxidativo.

La utilización de sustancias antioxidantes podría mejorar la protección frente a los radicales libres.

El déficit de antioxidantes parece que afecta el rendimiento físico y puede provocar la aparición de lesiones tisulares tras las sesiones de entrenamiento. El consumo de una dieta adecuada hace que el déficit de estas sustancias sea raro, y la suplementación en sujetos bien nutridos no ha demostrado, de forma clara, que tenga efectos ergogénicos[462,463].

La mejor estrategia y la recomendación actual es el consumo de una dieta variada y equilibrada, que contenga alimentos ricos en antioxidantes[187].

Los estudios realizados han mostrado resultados inconsistentes que indican efectos tanto positivos como negativos de la suplementación con distintos antioxidantes sobre el entrenamiento de resistencia, el estatus redox, la sensibilidad a la insulina o las vías bioenergéticas mitocondriales[464].

A continuación se analizan algunas de las sustancias antioxidantes en las que se centran numerosos estudios, por sus posibles efectos ergogénicos.

10.7.1. Coenzima Q10

Es una benzoquinona liposoluble que actúa en la producción de ATP en la cadena de transporte de electrones y tiene un importante efecto antioxidante cuando se asocia a la vitamina E, con acción probada en pacientes con enfermedad cardiaca[465,466].

La suplementación con esta sustancia (100-300 mg/día), en personas sanas no deportistas, parece mejorar el rendimiento físico y la sensación subjetiva de fatiga, y en deportistas reduce el daño muscular[467-470], pero se necesitan más estudios que confirmen estos datos.

El Real Decreto 130/2018[350] fija un máximo diario de 200 g para los complementos alimenticios.

En una investigación realizada en personas entrenadas y no entrenadas (muestra pequeña) se analizó el efecto de la suplementación con esta sustancia. Sus autores concluyen que, en comparación con un placebo, existe una tendencia a la mejora del rendimiento, un aumento de las concentraciones de coenzima Q10 en el músculo y una menor concentración en suero de superóxido dismutasa[471].

Por el contrario, un estudio realizado en 2016 concluye que la suplementación no previene el daño oxidativo inducido por el ejercicio ni el estrés oxidativo en jóvenes sedentarios sanos[472].

Son necesarios más estudios y en este momento no es posible justificar la recomendación de suplementación con esta sustancia basándose en los hallazgos científicos.

10.7.2. Carotenoides

Los carotenoides están entre los pigmentos naturales más comunes, y se ha descrito una gran variedad de ellos. Aportan su coloración roja, amarilla y naranja a frutas y verduras como melocotones, sandías, tomates, zanahorias y otras frutas y verduras. Solo pueden ser sintetizados por plantas y microorganismos, y los seres humanos los incorporan mediante la alimentación[473].

Los carotenoides de la dieta más importantes son el licopeno, la luteína y el β-caroteno, que tienen propiedades antioxidantes y actúan protegiendo a las células humanas del estrés oxidativo.

Entre los beneficios para la salud, se han sugerido efectos positivos sobre el cáncer de próstata, cáncer de pulmón y tracto digestivo, la patología cardiovascular y el envejecimiento[474]. Sin embargo, no hay que olvidar los resultados negativos de la utilización de β-caroteno en la prevención del cáncer de pulmón en fumadores, en los que se produjo un aumento de la incidencia de esta enfermedad[475].

Respecto al ejercicio físico, el más estudiado es el β-caroteno. La suplementación con esta sustancia, sola o en combinación con otros antioxidantes, puede minimizar la peroxidación lipídica inducida por el ejercicio y el daño muscular. Esto ayuda a los deportistas a tolerar mejor el entrenamiento, aunque se necesitan más estudios para demostrar que aumenta el rendimiento físico[476].

Un estudio realizado en 2017 concluye que la suplementación con un extracto de tomate con licopeno, fitopeno y fitoflueno atenúa el incremento, tras el ejercicio, del biomarcador de daño muscular mioglobina, pero no la inflamación ni el estrés oxidativo[477].

En España[350] se permite, en complementos alimenticios, un máximo diario de 20 mg para la suma de luteína y trans-zeaxantina de Tagetes erecta, así como un máximo diario de 15 mg para el licopeno y de 4 mg para la astaxantina de crustáceos y pescado.

10.7.3. Ácido lipoico

Es una coenzima hidrosoluble con funciones similares a las de las vitaminas del grupo B. Tiene propiedades antioxidantes estudiadas en animales y en humanos, con potenciales efectos positivos para la salud, como mejora de las enfermedades cardiovasculares[478], de la diabetes *mellitus* tipo 2[479] y de las enfermedades neurodegenerativas[480].

No se ha demostrado ninguna acción ergogénica sobre el rendimiento deportivo, e incluso un trabajo publicado en 2010 indica que la suplementación con vitamina E y ácido lipoico suprime la biogénesis mitocondrial en el músculo esquelético[481].

10.7.4. Resveratrol

El resveratrol es una fitoalexina presente en las uvas y en sus productos derivados, como el mosto y el vino, así como en otros alimentos. También puede producirse por síntesis química.

El resveratrol aumenta la captación de glucosa por el músculo esquelético, incrementa la proliferación de las células precursoras con efectos eficaces sobre la regeneración muscular tras las lesiones, tiene una importante acción antioxidante y actúa de forma positiva sobre la vasodilatación en los músculos; todo ello, unido a los efectos encontrados en el extracto de uvas sobre la disminución de la oxidación de las lipoproteínas de baja densidad y de la agregación plaquetaria, hace

que esta sustancia tenga una influencia favorable en las enfermedades cardiovasculares.

Parece tener efectos similares a los provocados por la restricción calórica: aumenta el rendimiento muscular en los ratones, fundamentalmente por una mejora del metabolismo mitocondrial y de la capacidad antioxidante de las células. El resveratrol incrementa la resistencia de estos animales al ejercicio extenuante[482,483], y su administración, unida a la práctica de ejercicio aeróbico, ha demostrado ser efectiva en el retraso del deterioro físico inducido por la edad en los ratones[484].

Existen trabajos muy prometedores, realizados en ratones, que muestran que los análogos sintéticos del resveratrol aumentan el rendimiento (resistencia aeróbica) en carrera, incrementan las fibras de tipo I y, a la vez, protegen frente a la obesidad y mejoran la resistencia a la insulina[485,486].

Algunos autores sugieren que los polifenoles como el resveratrol y algunos flavonoides considerados como antioxidantes muestran capacidad ergogénica y deberían tenerse en cuenta como suplementos dietéticos en los deportes de competición[487].

Estudios más recientes no observan, en su uso profiláctico, efectos que mejoren o atenúen las respuestas inflamatorias al ejercicio excéntrico en corredores de fondo bien entrenados[488].

10.7.5. Quercetina

La quercetina es un flavonol que abunda en las frutas y verduras, y que destaca por una gran actividad antioxidante. Entre los alimentos con altas concentraciones de quercetina se encuentran las cebollas, las manzanas, las uvas, el brócoli y el té.

Parece tener aplicaciones terapéuticas en la prevención y el tratamiento de enfermedades cerebrovasculares, ciertos tipos de cáncer y la obesidad. También presenta actividad antihistamínica.

No se ha demostrado que la suplementación con quercetina tenga efectos ergogénicos sobre el VO_2max, la eficiencia de pedaleo, la resistencia ni la percepción de esfuerzo en los humanos[489-493]. No existen nuevas evidencias de su efecto sobre el rendimiento ni el VO_2max[494].

El Real Decreto 130/2018[350] establece un máximo diario de 75 mg para la quercitina y de 150 mg para la rutina. Si se emplean conjuntamente en un mismo complemento alimenticio, la dosis total debe ser de 75 mg (calculando una conversión de rutina a quercitina del 50%). Para dosis superiores hay que recurrir al reconocimiento mutuo con otros países europeos.

10.7.6. Catequinas

Las catequinas se encuentran, junto con la cafeína, en grandes cantidades en el té verde. Se han asociado con posibles efectos sobre la pérdida de peso (galato de epigalocatequina).

Estas sustancias tienen propiedades antioxidantes y su ingestión (té verde) se asocia con una disminución del riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares.

Teóricamente tendrían un efecto sobre el aumento del gasto energético por estimulación del tejido graso marrón, que aumentaría la termogénesis. Este efecto se potencia al combinar las catequinas con cafeína. La asociación de una dieta hipocalórica junto con la toma de un extracto de té verde es más efectiva en la reducción de peso que la intervención únicamente con la dieta hipocalórica. El consumo de catequinas potencia los cambios sobre la grasa abdominal provocados por el ejercicio físico. No obstante, también hay trabajos que no avalan estos datos, en los que se observa que la ingesta de catequinas no tiene ninguna influencia sobre la pérdida de peso[191].

Se ha sugerido que su consumo a largo plazo, junto con la práctica habitual de ejercicio físico, sería beneficioso para evitar la disminución del rendimiento físico inducido por la edad. Este efecto se debería a la mejora en la función de las mitocondrias del músculo esquelético[495].

La ingestión de catequinas aumenta la oxidación de la grasa y el gasto energético durante el ejercicio en las personas tanto sedentarias como activas, y sus efectos antioxidantes ayudarían a la pérdida de peso en personas con sobrepeso y obesidad moderada.

En animales se ha observado que su consumo aumenta la oxidación de grasa durante la práctica de ejercicio, lo que podría producir un ahorro de glucógeno con la consecuente mejora del rendimiento de resistencia.

La ingestión crónica, no aguda, aumentaría el potencial antioxidante y mejoraría el estrés oxidativo y el daño muscular inducidos por el ejercicio extenuante. Sin embargo, una ingesta excesiva podría impedir las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento físico[496].

Según la EFSA[497], una ingesta diaria de galato de epigalocatequina en complementos alimenticios superior a 800 mg puede inducir un incremento de las transaminasas séricas.

10.7.7. Antocianósidos

Son polifenoles presentes en los frutos rojos, como arándanos, frambuesas y zarzamoras, en las cerezas y en la uva moscatel. Poseen efectos antioxidantes y antiinflamatorios.

Entre sus potenciales beneficios para la salud se encuentran la prevención de algunas neoplasias y de la diabetes, y la atenuación de los procesos de inflamación y del envejecimiento, pero se necesitan más estudios que lo confirmen.

Se ha sugerido que la suplementación con antocianósidos contrarresta o disminuye el estrés oxidativo inducido por el ejercicio, cuando se compara con placebo[498-502], y también que el zumo de cerezas, rico en polifenoles como flavonoides y antocianósidos, acelera la recuperación tras un trabajo intenso de fuerza isométrica, y que esto podría deberse a la disminución del daño oxidativo inducido por el ejercicio[503].

Estas sustancias muestran un potente efecto antioxidante y antiinflamatorio, y su consumo sería una estrategia efectiva para acelerar la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio. Además, en combinación con la quercitina podrían ser efectivos y con baja toxicidad en el tratamiento de algunos problemas musculoesqueléticos. Entre los mecanismos implicados en esta protección tisular estarían la inhibición de enzimas proteolíticas, la limitación en la producción de radicales libres, la mejora en la circulación tisular y la promoción de la estabilidad y de la fuerza de las fibras de colágeno[504,505].

10.7.8. Ácido elágico

Es un polifenol natural que se encuentra en muchas frutas y verduras. Las mayores concentraciones de ácido elágico se encuentran en las fresas, las frambuesas, los arándanos y las uvas. Tiene propiedades antioxidantes y antiproliferativas; estas últimas se deben a su capacidad para inhibir la unión al ADN de ciertos agentes carcinógenos. Además, como otros antioxidantes, tiene un efecto quimioprotector, reduciendo

el estrés oxidativo[506]. Es antagonista de las catequinas, como las que se encuentran en el té[507].

Los posibles efectos como ayuda ergogénica se derivarían de su acción antioxidante frente al estrés oxidativo inducido por el ejercicio, en la línea de las antocianinas.

10.7.9. Isoflavonas

Las isoflavonas son fitoestrógenos no esteroideos con una estructura química similar a la de la ipriflavona, un fármaco sintético que se usa en el tratamiento de la osteoporosis. La proteína de soja es una excelente fuente de isoflavonas.

Los extractos de isoflavonas se han postulado y comercializado como poseedores de poder anabolizante, basándose en estudios realizados en mujeres sedentarias obesas posmenopáusicas, en las que aumentaba el peso magro en las extremidades. Sin embargo, no hay evidencias recientes de que la suplementación con isoflavonas mejore la composición corporal, las adaptaciones al entrenamiento ni el rendimiento físico en personas activas físicamente.

10.7.10. N-acetil L-cisteína

Derivada del AA cisteína, participa en la conversión de esta en glutatión; también divide los puentes disulfuro de las mucoproteínas, por lo que fluidifica el moco, y por ello se utiliza en las enfermedades respiratorias.

Presenta efectos antioxidantes en pacientes con enfermedades pulmonares y neurodegenerativas, y en enfermos con sida.

Se ha empleado para combatir el estrés oxidativo en deportes aeróbicos[508-510], pero no está demostrada su acción ergogénica[510].

Hay investigaciones recientes que indican un efecto antioxidante, pero no son concluyentes. Además, parece ser que puede tener efectos secundarios no deseados. Son necesarios más estudios sobre su dosificación y debe aclararse la seguridad de su utilización antes de recomendar su uso[511-513].

La Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición ha propuesto una cantidad máxima diaria para la N-acetil-L-cisteína en complementos alimenticios de 300 mg. Sin embargo, en España, dosis de 300 mg o más se consideran medicamento.

10.7.11. Espirulina

La espirulina es un extracto de un alga que contiene tocoferoles, β-carotenos, polifenoles y fitocianinas con una alta actividad antioxidante que puede hacer que disminuya el estrés oxidativo inducido por el ejercicio, causante de fatiga muscular.

En los pocos estudios realizados se evidencia algún efecto positivo sobre el rendimiento y la fuerza[511]. Se necesitan más estudios que confirmen estos efectos y que aclaren los mecanismos de acción de esta sustancia, por lo que recomendar la suplementación con espirulina todavía es prematuro.

10.7.12. Curcumina

La curcumina es un colorante natural procedente de la cúrcuma (*Curcuma longa L.; turmeric* en inglés), especia que se cultiva fundamentalmente en la India.

En la UE es un aditivo alimentario con el código E-100. Se utiliza como colorante y aromatizante, y es un componente fundamental del curry, al que da su color amarillo característico.

Su suplementación se utiliza por sus posibles efectos antiinflamatorios, a dosis de unos 5 g/día. Parece que reduce los síntomas provocados por el daño muscular inducido por el ejercicio y podría acelerar la recuperación al disminuir las interleucinas proinflamatorias y algunos marcadores inflamatorios de daño muscular.

En los diferentes trabajos realizados se indica que son necesarios más estudios con muestras más amplias de población, y que incluyan diversos tipos de ejercicio ejecutados con distintas intensidades y dosificaciones de curcumina, para poder efectuar recomendaciones concretas a los deportistas[514].

A raíz de algunos casos de hepatitis colestática, en Italia se exige indicar en el etiquetado de los complementos alimenticios que contengan curcumina que se desaconseja su uso en caso de alteraciones en la función hepática o biliar, o de cálculos biliares.

10.8. Inmunomoduladores

10.8.1. Probióticos y prebióticos

10.8.1.1. Ejercicio y microbiota intestinal

La microbiota intestinal es la población de microorganismos que habitan en el intestino. Cada persona presenta una microbiota intestinal única, con una gran variabilidad en su composición. Entre sus principales acciones reconocidas sobresalen su capacidad de intervenir en la estabilidad y mejora de la inmunidad, y sus funciones metabólicas, de nutrición y de protección contra agentes externos. Cada vez existe mayor evidencia sobre el hecho de que la microbiota intestinal tiene gran impacto en el estado nutricional y en la salud de las personas.

Se sabe que el ejercicio físico influye en la homeostasis del organismo a través de mecanismos biológicos, que incluyen adaptaciones sistémicas de diversos órganos, con efectos positivos metabólicos e inmunitarios. Sin embargo, todavía son escasos los estudios del posible impacto de la actividad física sobre la microbiota intestinal[515].

Hay trabajos que demuestran que la poca capacidad para realizar ejercicio en las personas mayores se relaciona con una pobre diversidad de la microbiota en las heces, que a su vez se correlaciona con una dieta poco variada y monótona[516].

Para investigar la relación entre el ejercicio y la microbiota intestinal se determinaron distintas variables de un equipo de deportistas profesionales de rugby y se compararon los resultados con los de un grupo control de adultos sanos activos. Las cifras de creatina fosfocinasa fueron más altas en los deportistas, mientras que las de citocinas inflamatorias fueron menores que en el grupo control. Además, los deportistas profesionales tenían una mayor diversidad de microbiota fecal (presencia de 22 filos bacterianos en contraste con 11 filos en el grupo control), que se correlacionó con la ingesta proteica y con los valores de creatina fosfocinasa. Se sabe que el ejercicio aumenta el tono vagal (antiinflamatorio e inmunomodulador), y este efecto podría representar un medio indirecto por el cual el ejercicio condiciona la composición de la microbiota intestinal de forma positiva[517,518].

Por otro lado, cada vez se estudia más el eje cerebro-intestino y la influencia que el ejercicio físico puede tener sobre estos dos órganos, incluyendo la microbiota intestinal.

10.8.1.2. Concepto de probiótico, prebiótico y simbiótico

Los probióticos son microorganismos vivos que, tras ingerirlos, ejercen beneficios para la salud mediante la potenciación de la inmunidad celular del individuo.

Las bacterias con actividad probiótica son en general lactobacilos y bifidobacterias, estreptococos, ciertas clases de *Escherichia* y otros organismos no bacterianos, como *Saccharomyces boulardii.* Las dos especies principales utilizadas comercialmente son *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Los probióticos pueden obtenerse de los alimentos y de los complementos alimenticios[519].

Los prebióticos son sustancias de origen vegetal que, incorporadas a la dieta, llegan al intestino y pueden servir de sustrato, y por lo tanto como promotores del crecimiento, a las bacterias allí presentes. Los más eficaces son los fructooligosacáridos y la inulina. Todos ellos se encuentran en alimentos como la achicoria, la cebolla, el trigo, el plátano, la miel y el ajo. También pueden sintetizarse artificialmente añadiéndolos a los preparados comerciales hidrocarbonados eficaces en la población que realiza esfuerzos intensos[520].

El balance ecológico de la flora intestinal puede ser manipulado mediante la ingestión de probióticos o de sustancias que favorezcan el crecimiento de los probióticos (prebióticos), o con ambos a la vez (simbióticos).

La eficacia de los probióticos se debe a su capacidad para fijarse a los enterocitos, lo que les permite realizar un antagonismo competitivo con microorganismos patógenos y desplazarlos. Además, los probióticos también se fijan a receptores de membrana que activan la producción de citocinas.

Todo esto condiciona que sean capaces de cambiar la flora intestinal, produciendo ácido láctico, bacteriocinas y péptidos antimicrobianos activos frente a patógenos como *Escherichia coli, Streptococcus, Clostridium,* Bacteroides y *Salmonella*.

Con probióticos puede llevarse a cabo una estrategia de interferencia para tratar infecciones producidas por patógenos que hayan generado resistencias a los antibióticos en pacientes inmunodeprimidos, o enfermos críticos y en el periodo ventana del deportista de competición[521].

Dentro de los potenciales efectos beneficiosos destacan la mejoría de la salud del tracto intestinal, del sistema inmunitario y de la biodisponibilidad de los nutrientes, la reducción de la intolerancia a la lactosa, la disminución de la prevalencia de alergia en individuos susceptibles y la reducción del riesgo de ciertos tipos de cáncer. La EFSA opina que los cultivos vivos de yogur o de leche fermentada mejoran la digestión de la lactosa en personas con dificultad para digerirla, y fijan como condición que contengan un mínimo de 108 unidades formadoras de colonias (*Lactobacillus delbrueckii* o *Streptococcus thermophilus*) por gramo.

Una revisión Cochrane de 12 estudios (n = 3.720 sujetos) muestra, con una evidencia moderada, un descenso de aproximadamente el 50% en la incidencia de procesos catarrales y una disminución de 2 días de su duración, con una dosis diaria de 10^{10} bacterias vivas[522].

Hay una evidencia media-alta de que los probióticos, al interaccionar con el sistema inmunitario, mejoran los procesos de diarreas y colitis ulcerosa, por lo que su uso podría ser interesante para los deportistas en periodos de competición en los que deben viajar con frecuencia y pueden presentar procesos diarreicos de distintas etiologías[523,524].

En la actualidad son muy escasos los estudios realizados que evalúen los efectos de los probióticos sobre el rendimiento deportivo, aunque existen numerosas evidencias de sus beneficios sobre la salud. Los suplementos de probióticos pueden resultar beneficiosos para los deportistas fatigados, o durante un tratamiento antibiótico o con una deficiencia inmunitaria identificable, pero su eficacia en el rendimiento deportivo de aquellos en los que ya es óptimo aún está por establecerse[525,526].

Se sabe que la pérdida de peso con una dieta equilibrada mejora la composición de la microbiota. Además, el ejercicio físico induce un cambio único en la microbiota que es diferente de los efectos dietéticos y que puede desempeñar un papel importante en la prevención de la obesidad inducida por una dieta alta en grasas[527].

Por otro lado, existe evidencia de que los probióticos pueden prevenir la obesidad. El consumo de 200 g/día de leche fermentada (*Lactobacillus gasseri* LG2055) durante 12 semanas se relacionaba con un menor porcentaje de grasa abdominal y un menor índice de masa corporal[528].

También con la toma de estos microorganismos pueden observarse mejoras en los síntomas de la enfermedad celiaca, ya que los probióticos (*Lactobacillus fermentum* y *Bifidobacterium lactis*) pueden contrarrestar directamente los efectos nocivos producidos por la gliadina en las personas celiacas, y ello justifica la realización de estudios adicionales sobre su potencial como nuevo suplemento dietético coadyuvante en el tratamiento de la enfermedad celiaca[531.529].

La dosis efectiva es de 10^{9}-10^{10} unidades formadoras de colonias por día. Esta concentración corresponde a aproximadamente 1 litro de leche *acidophilus* (formulación estándar de 2×10^{6} unidades vivas/ml).

El periodo de vida útil de la mayoría de los productos probióticos es de unas 3-6 semanas si se mantienen a 4 °C. Si se trata de comprimidos secos (enterocápsulas), la vida útil se establece en unos 12 meses, pero los títulos de probióticos pueden disminuir significativamente durante este tiempo.

Las recomendaciones sugieren que las especies probióticas conocidas deben introducirse gradualmente en la dieta, llegando a la cantidad diaria aconsejada en unas 2-3 semanas[530].

10.8.2. Eleuterococo (ginseng siberiano o Eleutherococcus senticosus)

El eleuterococo estimula el sistema nervioso central, aumentando la capacidad de trabajo y disminuyendo la sensación de fatiga. Se emplea la raíz de la planta, la cual contiene unas sustancias llamadas eleuteranos y eleuterósidos, ambos polímeros de glucosa, a las que se atribuyen efectos inmunomoduladores, antioxidantes y endocrinos (*adrenalin-like*). Se utiliza en casos de importantes cargas físicas que puedan condicionar una gran fatiga muscular y agotamiento agudo.

Pese a que se ha sugerido que el eleuterococo incrementa la utilización de la grasa como sustrato energético, mejorando así el rendimiento deportivo tanto en trabajos máximos como submáximos, no existe ninguna evidencia científica de este hecho ni de que su utilización induzca cambios en las concentraciones plasmáticas de lactato, insulina, cortisol u hormona del crecimiento[531-533].

Con respecto a su eficacia inmunomoduladora, existe evidencia de que el tratamiento con eleuterococo *(in vivo)* reduce la concentración en

sangre periférica de linfocitos T CD8+ (inmunosupresores) e incrementa los mitógenos que estimulan la producción de linfocitos T, así como de interleucina 2, mejorando por tanto la inmunidad celular. No obstante, esta sustancia no tiene capacidad para aumentar el número total de células blancas ni la concentración de neutrófilos, monocitos o linfocitos (CD3+, CD4+, CD16+, CD20+), y tampoco modifica la producción de radicales libres por los neutrófilos[534,535].

En resumen, el eleuterococo o ginseng siberiano tiene un efecto inmunoestimulante limitado, que es máximo en los periodos de actividad física intensa y continuada que pueden condicionar inmunosupresión, y en las fases precompetitivas, cuando se supone que el deportista puede tener riesgo de alteraciones de la inmunidad celular.

Durante los ciclos largos de entrenamiento a altas intensidades, en etapas precompetitivas se utilizan 2-4 ml (1-2 capsulas de preparados comerciales convencionales), media hora antes de la comida o bien media hora antes del entrenamiento.

El eleuterococo tiene un escaso efecto como respuesta a un protocolo de ejercicio agudo.

10.8.3. Equinácea

El efecto farmacológico de esta planta se encuentra en el tallo y en las flores. Es ampliamente utilizada para prevenir o minimizar los procesos respiratorios víricos agudos. Se ha propuesto su uso para el tratamiento de algunos estados de inmunosupresión relativa en los deportistas. A pesar de haberse realizado numerosos estudios sobre su eficacia, los ensayos en la prevención o el tratamiento de los cuadros víricos no han demostrado resultados estadísticamente significativos sobre la duración ni sobre la intensidad del curso clínico del resfriado común[536].

10.8.4. Uña de gato

La uña de gato habitualmente hace referencia a dos especies: *Uncaria tomentosa* y *Uncaria guianensis*. Se ha utilizado tradicionalmente para el tratamiento de multitud de enfermedades, como la artritis, procesos oncológicos, patología gastrointestinal e incluso como anticonceptivo. En la actualidad, su efecto farmacológico se centra en las potenciales acciones antiinflamatorias e inmunomoduladoras de sus dos principales metabolitos activos: el ácido quinóvico y alcaloides pentacíclicos y tetracíclicos del oxindol.

En el ámbito deportivo se utiliza en la osteoartritis degenerativa postraumática y en ocasionales estados de inmunosupresión.

Pese a haberse demostrado *in vitro* que los alcaloides pentacíclicos del oxindol favorecen la fagocitosis y poseen propiedades inmunomoduladoras, especialmente contra el factor de necrosis tumoral, así como efectos antiinflamatorios en la vía de la ciclooxigenasa 2 (COX-2), no existe en la actualidad evidencia científica de su eficacia *in vivo*[537].

10.9. Bicarbonatos y citratos

Son sustancias alcalinizantes que actúan a modo de tampón en medio ácido. Se ha evidenciado su efecto en cuanto a la prevención de la fatiga muscular en ejercicios de predominio anaeróbico láctico (esfuerzos de corta duración e intermitentes, con breves periodos de descanso) por su capacidad tamponadora extracelular (neutralizan el ácido láctico) y la mejora del flujo de hidrogeniones musculosanguíneo, manteniendo el pH aproximado al rango de normalidad en el esfuerzo físico[5,356,538,539].

Hay trabajos que constatan un efecto sobre el equilibrio ácido-base, con una mejora, aunque no estadísticamente significativa, en el rendimiento anaeróbico[540] y en el rendimiento aeróbico[541]. Sin embargo, estos efectos no se han evidenciado en algunas investigaciones[542,543].

La dosis recomendada en esfuerzos de alta intensidad y duración de 1 a 15 minutos es de 0,3 g/kg (21 g para un peso medio de 70 kg) tomada 60-90 minutos antes del esfuerzo[180,539].

La respuesta ergogénica depende de factores individuales y de la dosis ingerida, con una acción dependiente de la dosis y aparición de efectos secundarios gastrointestinales en sujetos susceptibles (dolor epigástrico, diarrea, náuseas), que pueden evitarse consumiendo 1-2 litros de agua. Existen varias pautas que disminuyen la incidencia de síntomas gastrointestinales, consistentes en tomar 5 g de bicarbonato sódico dos veces al día durante 5 días, tomarlos junto con una comida con 1,5 g/kg peso de HC, y también probando la tolerancia individual a distintas dosis e intervalos. El citrato sódico puede ser la alternativa en caso de intolerancia gastrointestinal[5,9,544-546].

10.10. Ginseng

El principio activo utilizado en los preparados estimulantes son los ginsenósidos (saponósidos triterpénicos) de la raíz de *Panax ginseng*. Los efectos ergogénicos de los ginsenósidos se han relacionado tanto con la mejora del rendimiento aeróbico y del umbral de lactato como con el incremento del VO_2max, el descenso de la frecuencia cardiaca y la disminución de la percepción subjetiva de esfuerzo para una misma intensidad de ejercicio.

En animales de laboratorio se ha evidenciado un aumento de la capacidad antioxidante hepática y una atenuación de los efectos del estrés oxidativo inducido por el ejercicio exhaustivo[547].

Sobre la respuesta inmunitaria hay un estudio a doble ciego realizado en varones sanos sedentarios que desarrollaron un trabajo físico moderado tras la administración de 1.125 mg/día de ginsenósidos (ginseng americano, *Panax quinquefolius*) durante 35 días. Se evidenció un efecto limitado sobre la respuesta inmunitaria, sin cambios en la concentración plasmática de lactato, insulina, cortisol y hormona del crecimiento[531].

Con respecto al aumento del rendimiento deportivo, hay pocos estudios sobre la respuesta de la capacidad aeróbica y algunos resultados son contradictorios[548], pero algún trabajo encuentra una atenuación en las cifras de creatina cinasa tras el esfuerzo[549]. Solo hay un estudio a doble ciego que evidencia una mejora en la resistencia al agotamiento y en el consumo máximo de oxígeno, y una disminución de la presión arterial, con la administración de 1.350 mg de ginsenósidos *(Panax notoginseng)* durante 30 días[328].

Según un metaanálisis, se constata una eficacia estadísticamente significativa de los suplementos de ginseng en ejercicios de resistencia, con reducción de la fatiga, pero sin mejora del rendimiento (VO_2max), y se concluye que no hay suficiente evidencia para apoyar el uso de suplementos de ginseng con el fin de reducir la fatiga y mejorar el rendimiento físico, ya que hasta ahora se han publicado pocos ensayos

clínicos aleatorizados y los que se han realizado tenían un tamaño de muestra pequeño. Se requieren más trabajos para confirmar la eficacia de los suplementos de ginseng tanto en la reducción de la fatiga como en la mejora del rendimiento[550].

Utilizado como producto activo farmacológico, la dosis media es de 200-1.500 mg/día de extracto activo (ginsenósidos, *P. ginseng*), por la mañana, durante 1 mes de entrenamiento.

Está contraindicado en caso de hipersensibilidad, hipertensión arterial y estados de ansiedad o excitabilidad, con reacciones adversas de hipertensión arterial, cefalea, mareo, metrorragia, ginecomastia, diarrea, erupción exantemática, nerviosismo, insomnio y edema.

10.11. Glicerol

El glicerol o glicerina (1, 2, 3 propanotriol) es un alcohol que se obtiene de la degradación digestiva de los lípidos durante el proceso de la lipólisis. Se encuentra en aceites y en grasas animales y vegetales.

Se le ha atribuido la capacidad de mejorar el rendimiento en ejercicios de resistencia[551,552] mediante el incremento de la gluconeogénesis, la conservación de la hidratación con menor pérdida de peso corporal al finalizar el esfuerzo físico, la disminución de la frecuencia cardiaca y del umbral de lactato, y la reducción de la percepción del esfuerzo realizado, retrasando la aparición de la sensación de fatiga[553].

En algunas investigaciones se ha observado que las bebidas suplementadas con glicerol pueden mejorar y mantener el estado de hidratación del organismo durante más tiempo, debido a sus propiedades osmóticas[553-555], por lo que se pensó que tendría un papel positivo sobre la termorregulación, ayudando a disminuir la temperatura corporal, pero los estudios no son concluyentes[554,556].

Durante una competición deportiva, una deshidratación que supere el 2% del peso corporal reduce la capacidad de resistencia al alterarse la competencia termorreguladora y cardiovascular. La utilización de glicerol como ayuda ergogénica disminuye la diuresis (tiene capacidad de retención hídrica al incrementar el volumen plasmático), por lo que podría evitar la deshidratación. Su uso estaría indicado cuando se realizan actividades deportivas muy prolongadas e intensas, en ambientes húmedos y calurosos[552].

La hiperhidratación antes de determinadas actividades deportivas es una técnica que se utiliza para evitar disminuciones del rendimiento secundarias a la deshidratación en actividades prolongadas. Añadiendo glicerol a una hiperhidratación antes de competiciones de resistencia se optimiza la retención de líquidos, pero no parece que mejore el rendimiento deportivo respecto a la hiperhidratación sin glicerol. El volumen plasmático después de la administración de glicerol aumenta alrededor de un 3,3% en comparación con la administración de líquido solo[555,557-559]. Por otra parte, la retención de agua aumenta la masa corporal y eso podría tener un impacto negativo en la economía de carrera.

En cualquier caso, mejore o no el rendimiento deportivo, el glicerol solo o combinado con sal o creatina es una estrategia de hiperhidratación efectiva que produce aumentos significativamente mayores en el agua corporal que cuando se consume solo líquido[558,560].

Debe administrarse en cantidades inferiores a 5 g/kg de peso corporal. En algunos casos pueden aparecer efectos secundarios, como náuseas, molestias gástricas, cefaleas o mareos.

Respecto a la dosis de glicerol, en la mayoría de las investigaciones se indica que se precisan 1-1,2 g/kg de peso corporal disueltos en 25-30 ml/kg de líquido. Debe tomarse 1 y 2 horas antes del comienzo de la actividad deportiva, aunque también está indicado su consumo durante la actividad[551,558].

Durante años ha estado incluido en la lista de sustancias prohibidas por la Agencia Mundial Antidopaje, en el epígrafe de diuréticos y otras sustancias afines, como producto expansor del plasma[561]. En el año 2018 fue excluido de las sustancias tipificadas como dopantes, ya que los posibles efectos en el enmascaramiento de sustancias prohibidas, al incrementar el volumen plasmático del deportista, son mínimos[562].

10.12. Cannabidiol

El cannabidiol es un cannabinoide que se encuentra en el cannabis, y es el principal componente de la planta (representa hasta un 40% de sus extractos).

El cannabidiol sintético dejó de estar incluido en la lista de sustancias prohibidas por dopaje en el año 2018[562]. Aunque no es un cannabimimético, esta sustancia extraída de las plantas de cannabis puede contener distintas concentraciones de tetrahidrocannabinol, que continúa estando prohibido.

El empleo del aceite de cannabidiol, como extracto de marihuana, se ha convertido en un producto de moda en los lugares donde se ha legalizado su uso[563].

La OMS, en 2017, realizó la recomendación de que no se clasificara como sustancia sujeta a fiscalización internacional porque, en estado puro, no parece tener efectos nocivos para la salud, ni ser adictiva, a diferencia del tetrahidrocannabinol[564], al tiempo que puede tener numerosas posibilidades terapéuticas, como en el tratamiento de las convulsiones en la epilepsia. También se ha descrito su posible utilidad en el manejo de la ansiedad y como antiinflamatorio, aunque sin evidencia científica todavía.

La única indicación clínica aceptada es como tratamiento para la mejoría de los síntomas en pacientes adultos con espasticidad moderada o grave debida a la esclerosis múltiple y que no han respondido de forma adecuada a otros medicamentos[565].

En España, el cannabidiol no está autorizado para su uso como complemento alimenticio ni su empleo queda amparado por la Directiva 2002/46/CE del Parlamento Europeo[566] (transpuesta a la legislación española por el Real Decreto 1487/2009[567], que se modificó el 16 de marzo de 2018 por el Real Decreto 130/2018)[350].

No existe ninguna evidencia de que el cannabidiol mejore el rendimiento en deportistas de competición.

10.13. Melatonina

La melatonina es una hormona peptídica (5-metoxi-N-acetiltriptamina) que se produce principalmente en la glándula pineal, desde donde pasa al líquido cefalorraquídeo y a la circulación cerebral y sistémica. También se produce en otros órganos (retina, células del sistema inmunitario, intestino), donde ejerce una función antioxidante[568,569].

La distribución orgánica de la melatonina se corresponde con la localización de las células productoras de serotonina. La melatonina de origen extrapineal pasa a la circulación sistémica, y la sintetizada

en la retina y en el tracto gastrointestinal puede actuar *in situ*. El 95% de la melatonina liberada a la sangre es metabolizada por el hígado[568].

Las concentraciones de esta hormona muestran variaciones a lo largo del día vinculadas al ritmo circadiano generado en el núcleo supraquiasmático y sincronizado con el ciclo luz-oscuridad durante las 24 horas del día: la producción de melatonina se inhibe por la luz y se estimula por la oscuridad. Su vida media varía entre 20 y 60 minutos.

La liposolubilidad de la melatonina le permite una rápida absorción cuando se administra por cualquier vía; puede atravesar todas las barreras biológicas y llegar hasta cualquier compartimento celular para prevenir el daño oxidativo. Las funciones de la melatonina como antioxidante incluyen la neutralización directa de radicales libres, la estimulación de la actividad de enzimas antioxidantes, el incremento de la eficiencia de la fosforilación oxidativa mitocondrial y el aumento de la eficacia de otros antioxidantes[569,570].

La melatonina ejerce una acción sinérgica con las vitaminas C y E[573]. Al comparar los efectos del ejercicio intenso en dos grupos, uno con melatonina y otro con placebo, se evidenció una reducción de la peroxidación lipídica, un aumento de la capacidad antioxidante total y un mantenimiento de la actividad de la superóxido dismutasa, la glutatión peroxidasa y la catalasa, estadísticamente significativo, en el grupo experimental que tomaba melatonina, en comparación con el grupo control. Estos resultados concuerdan con otros estudios realizados en deportistas sometidos a entrenamiento intenso[571].

10.13.1. Efectos de la melatonina sobre el rendimiento deportivo

La melatonina ha sido utilizada como suplemento nutricional principalmente por su acción reguladora del ciclo sueño/vigilia, pero ejerce otras acciones fisiológicas que pueden aumentar el rendimiento deportivo:

- Efectos sobre el sistema cardiovascular[569,571,572]:
  - Aumento del gasto cardiaco y de la fracción de eyección, a través de una acción inotrópica positiva.
  - En humanos, la administración de melatonina reduce la frecuencia cardiaca y la presión arterial, lo que sugiere un efecto neurológico vagal.
  - Efecto supresor del tono adrenérgico, reduciendo las concentraciones de catecolaminas y de dopamina.
  - La administración de melatonina previa al esfuerzo reduce las cifras de creatina cinasa y de creatina cinasa MB después del esfuerzo, así como las de citocinas proinflamatorias.
- Efectos sobre el sistema neurológico y muscular[573]:
  - El uso más tradicional y con mayor evidencia científica de la melatonina es el relacionado con la regulación del sueño y con la alteración de este por el efecto jet lag, en el que se produce una desincronización en el patrón del sueño. Esto es muy frecuente entre los deportistas de competición, debido a los continuos viajes transoceánicos[574]. En las personas con este tipo de alteración, o con sueño poco reparador, el aporte de melatonina en diferentes dosis (de 1 a 50 mg) ha mostrado regular la cantidad de horas de sueño, especialmente de la fase REM, y mejorar su calidad, consiguiendo una mejora en la recuperación nocturna y, por tanto, provocando un efecto ergogénico de forma indirecta (grado de evidencia B)[575,576].
  - Las evidencias indican la posibilidad de que la melatonina, tanto endógena como exógena, produzca un aumento de la respuesta de las fibras musculares a las motoneuronas alfa, mejorando el rendimiento físico, aunque se necesitan más estudios para confirmarlo[573].
- Efectos sobre el metabolismo durante el ejercicio[577]:
  - Uno de los supuestos efectos beneficiosos de la melatonina sobre el rendimiento físico es el ahorro de glucógeno, al modificar la utilización de los HC y de los lípidos para mantener la glucemia durante el ejercicio, reduciendo los niveles de lactato y de β-hidroxibutirato.
  - La melatonina parece aumentar la captación de glucosa por parte de la fibra muscular a través de mecanismos sobre los receptores insulínicos.
- Efectos sobre el estrés oxidativo muscular[569,571]:
  - El efecto antioxidante de la melatonina es uno de los mejor demostrados. Puede contribuir al incremento del rendimiento físico mediante una disminución de la fatiga muscular ligada al efecto antioxidante.
  - La melatonina ha mostrado un efecto protector mitocondrial tras los fenómenos de isquemia-reperfusión, que también pueden producirse durante el ejercicio físico intenso.
- Efectos sobre la termorregulación: se han postulado efectos de la melatonina moderando las respuestas termorreguladoras en ambientes cálidos y húmedos; sin embargo, los resultados de los estudios no son concluyentes[578,579].

El uso de dosis más altas de melatonina (10-80 mg) provoca una reducción del estado de alerta y del tiempo de reacción, lo que supondría una disminución del rendimiento físico global. No obstante, la utilización de dosis de 100 mg/día en un estudio realizado en deportistas mostró mejoras en la actividad antioxidante sin alteraciones en el ritmo sueño-vigilia que pudieran interferir negativamente con el rendimiento[580].

Se ha observado que la melatonina promueve efectos antioxidantes, antinflamatorios y reguladores del sueño, que respaldan un efecto ergogénico por sus acciones metabólicas y sobre el SNC[581-584].

10.14. Leptina

La leptina es un péptido de 167 AA producido principalmente en el tejido adiposo blanco y en menor proporción en el visceral. La leptina circulante se relaciona de manera directa con la magnitud del tejido adiposo, y es una variable que muestra la disponibilidad energética corporal. Esta hormona desempeña un papel importante en la regulación de la homeostasis energética, en la función neuroendocrina e inmunitaria, y en el metabolismo hidrocarbonado, lipídico y óseo[585,586].

El descubrimiento de la leptina sirvió para cambiar los conceptos sobre la bioenergética y la homeostasis metabólica, al evidenciarse la función endocrina del tejido adiposo. Sus concentraciones fluctúan dependiendo de la ingesta calórica, con un claro descenso durante el ayuno. La secreción de leptina tiene un carácter pulsátil circadiano y presenta sus mayores concentraciones a media noche.

La cantidad de leptina circulante también depende de otras variables, como las concentraciones de glucocorticoides, de insulina, de catecolaminas y de citocinas[587].

Los efectos de la leptina se producen principalmente a través del sistema nervioso autónomo y se resumen en los siguientes:

- Hepáticos:
  - Disminución de la neoglucogénesis.
  - Disminución de la esteatosis hepática.
- Musculares:
  - Aumento de la captación de glucosa.
  - Aumento de la oxidación de AG.
- Pancreáticos:
  - Disminución de la secreción de glucagón.
  - Disminución de la secreción de insulina.

Este perfil funcional podría hacer considerar a la leptina como un interesante elemento en la ergogenia durante el deporte, debido a algunos de sus efectos metabólicos y hormonales.

La mayoría de las investigaciones que han relacionado la leptina con el ejercicio se han dirigido al estudio de las modificaciones en las concentraciones de esta hormona en diferentes tipos de deportes y con distintos grados de esfuerzo[587-590].

Los ejercicios realizados a elevadas intensidades y los que implican la participación de la musculatura de gran parte del cuerpo provocan mayores respuestas en las concentraciones de leptina y en la disminución del apetito. En poblaciones obesas, el ejercicio de resistencia reduce las cifras de leptina debido a la mejora de la sensibilidad de sus receptores. Sin embargo, hasta el momento no se dispone de estudios dirigidos a evidenciar los efectos de la administración de leptina sobre el rendimiento físico[591,592].

10.15. Sulfato de condroitina, sulfato de glucosamina, ácido hialurónico, bromelina

En el deporte, las exigencias por obtener un alto rendimiento deportivo, tanto en el ámbito de la competición como en el recreativo, hacen que cada vez aparezcan más patologías degenerativas que pueden derivar en lesiones condrales o acelerar el desarrollo de osteoartritis. Para prevenir o aliviar este tipo de lesiones existen algunas sustancias o complementos, entre los que destacan el sulfato de condroitina, el sulfato de glucosamina y el ácido hialurónico (AH), que son muy utilizadas por los deportistas para mejorar, de forma indirecta, su rendimiento.

En numerosos ensayos clínicos, estos tres principios activos han demostrado eficacia tanto en el tratamiento sintomático a largo plazo (SYSADOA, *symptomatic slow acting drugs for osteoarthritis*) como en el tratamiento etiopatogénico de la enfermedad osteoartrítica (SDMOAD, *structure disease modifying osteoarthritis drugs*)[593-595]. Existen evidencias de que estos medicamentos son eficaces en el tratamiento sintomático de dichas afecciones, y también altamente seguros. Este último punto es clave en la terapia crónica de la patología condral, ya que se reducen los efectos adversos y las posibles interacciones con otros fármacos.

10.15.1. Sulfato de condroitina

Forma parte del grupo de los glucosaminoglicanos (proteoglicanos), importantes constituyentes estructurales de la matriz extracelular del cartílago, al que contribuyen a aportar sus cualidades mecánicas y elásticas gracias a la propiedad de retención de agua, que permite que el cartílago articular se estire cuando se somete a una fuerza mecánica. También se encuentra en otros tejidos como el hueso y la piel.

En las enfermedades articulares degenerativas, la fase clave del deterioro es la pérdida de proteoglicano del cartílago y la subsecuente exposición de la red de colágeno a un mal funcionamiento mecánico.

La eficacia del sulfato de condroitina en la persona que realiza actividad física se debe a diversos mecanismos de acción: actividad antiinflamatoria sobre los componentes celulares de la inflamación, estimulación de la síntesis de proteoglicanos y de AH endógeno, reducción de la actividad catabólica de los condrocitos y efecto protector de los componentes celulares del cartílago, estimulando a los condrocitos en la reparación del cartílago dañado. Además, reduce la hinchazón y el derrame articular[596,597].

Según diversas investigaciones, el sulfato de condroitina es un compuesto eficaz que disminuye los síntomas del dolor condral, mejora la impotencia funcional y la movilidad articular después de 2-3 semanas de comenzar el tratamiento y sus efectos se mantienen hasta 2-3 meses después de suspenderlo[598,601]. Sin embargo, no todos los investigadores encuentran efecto terapéutico[592-602].

La dosis recomendada es de 800 mg/día, en una sola toma, durante un periodo inicial de 3 meses, preferiblemente tras las comidas. Sus efectos se incrementan cuando se combina con glucosamina[603].

En España[350] está autorizado el sulfato de condroitina en complementos alimenticios hasta un máximo de 500 mg/día; cantidades superiores requieren el reconocimiento mutuo con otros países europeos.

Dado que se trata de un SYSADOA, el inicio de acción del sulfato de condroitina es algo lento, de 2-3 semanas, pero alcanza la misma eficacia que los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) y además presenta un efecto remanente que se mantiene hasta 2-3 meses después de suspender el tratamiento.

La seguridad de este fármaco reviste especial interés en los tratamientos crónicos (continuados o en ciclos), como el de la artrosis. La estructura del sulfato de condroitina exógeno es idéntica a la del endógeno, sustancia natural del tejido conectivo humano, por lo que su administración no presenta toxicidad en sí misma.

A diferencia de los AINE, el sulfato de condroitina no tiene efectos adversos gastrointestinales, hepáticos, renales ni cardiovasculares, por lo que puede administrarse de forma crónica, actuando como tratamiento de base, aunque según un reciente metaanálisis puede aliviar el dolor, pero no posee efectos clínicos en el tratamiento de la osteoartritis[604].

10.15.2. Sulfato de glucosamina

El sulfato de glucosamina es un principio activo de origen biológico presente en el organismo humano y sintetizado a partir de la quitina que se extrae de las conchas y de los caparazones de crustáceos. La glucosamina es el sustrato para la biosíntesis de los proteoglicanos del cartílago y su acción terapéutica se debe a este hecho, ya que favorece la síntesis de estos compuestos en los cartílagos articulares. Además, posee actividad antiinflamatoria independiente de la ciclooxigenasa, por lo que tiene buena tolerancia gastrointestinal y sistémica[605]. Parece probable que tenga un efecto similar al de los AINE, porque puede causar una disminución de la expresión de los genes COX-2 y PGE2.

Ejerce un efecto analgésico y antiinflamatorio en aquellas patologías que se acompañan de degeneración del cartílago y, según algunos autores, retrasa la aparición de osteoartritis[594,597,606].

Diferentes estudios[607] han mostrado que la glucosamina puede impedir cambios complejos en la estructura osteoarticular y tener un efecto positivo sobre los síntomas en la etapa inicial de la osteoartritis de rodilla. La evidencia farmacocinética demuestra que su ingestión oral repetida puede causar un aumento de la glucosamina en el líquido sinovial. También algunos estudios sugieren que la glucosamina ejerce una acción condroprotectora en los deportistas de resistencia, al prevenir la degradación del colágeno de tipo II, al mismo tiempo que se mantiene su síntesis[608,609].

No todos los autores están de acuerdo en su efectividad terapéutica, pero posiblemente la controversia se deba a las diferencias en la dosificación y en la pureza de los productos[610].

La glucosamina suele administrarse por vía oral en dosis de 1.500 mg/día, en una sola toma, preferiblemente tras las comidas, durante periodos largos (3 meses). Se absorbe bien en el tubo digestivo, y se transporta y llega al aparato locomotor, donde entra a formar parte de varios tejidos[609,611]. No tiene efectos secundarios.

El Real Decreto 130/2018[350] permite la comercialización de complementos alimenticios con glucosamina (como sulfato o clorhidrato) hasta un máximo diario de 500 mg. Ingestas superiores hacen necesario recurrir al reconocimiento mutuo con otros países europeos.

Existen numerosas evidencias del aumento de la eficacia terapéutica con la toma combinada de sulfato de condroitina y glucosamina, junto con una nutrición adecuada, para la mejora de los síntomas de la osteoartritis[612-614].

10.15.3. Ácido hialurónico

El AH pertenece a la familia de los glucosaminoglicanos (mucopolisacáridos) de elevado peso molecular. Es uno de los componentes principales de la matriz extracelular del cartílago y de las capas superficiales de la membrana sinovial, y está presente en altas concentraciones en el líquido sinovial, al que proporciona viscoelasticidad. Es un elemento fundamental para mantener las propiedades lubricantes y amortiguadoras del líquido; de hecho, en numerosas patologías condrales, la cantidad de AH en el líquido sinovial y en el cartílago es insuficiente, por lo que su calidad está alterada[615].

El cartílago articular y el líquido sinovial tienen diferentes concentraciones de AH dependiendo de su estado fisiológico. El AH lubrifica las articulaciones y parece tener efectos directos sobre la función de las células sinoviales y del líquido sinovial, ya que induce la normalización de la viscoelasticidad de este líquido, estimula la regeneración de los tejidos condrales, aumenta la síntesis de condrocitos y proteoglicanos, previene la degradación del cartílago y promueve su regeneración. Por otra parte, puede reducir la producción de mediadores proinflamatorios y metaloproteinasas de la matriz[616-618].

Al parecer, en la osteoartritis, el AH endógeno disminuye en las articulaciones, se despolimeriza y pierde peso molecular, y esto produce una disminución de las propiedades mecánicas y viscoelásticas del líquido sinovial en las articulaciones afectadas.

Su efecto farmacológico se consigue en forma de implante intraarticular, con el fin de mejorar la movilidad de las articulaciones con superficie degenerativa del cartílago y las alteraciones en el líquido sinovial. Por tanto, la infiltración intraarticular de AH va a mejorar la calidad y las propiedades viscoelásticas del líquido sinovial.

Se utiliza en el tratamiento sintomático de patologías articulares como la osteoartritis de rodilla y las condromalacias, y según se informa en diversas publicaciones científicas, su administración intraarticular, además de ser un buen lubrificante (viscosuplementación), tiene efectos analgésicos y antiinflamatorios[617,619,620]. También hay algunos estudios que indican que las tendinopatías responden al tratamiento con AH[621,622].

Se conocen diferentes tipos de AH con distintos pesos moleculares, que habitualmente van de 500 a 730 KDa. En general, pueden dividirse en los que son de corta duración y requieren repetir la infiltración una vez por semana durante varias semanas, y los de larga duración, que permanecen más tiempo en la articulación, lo que posibilita una sola inyección para periodos prolongados, de 6 a 12 meses[623].

La utilización de ciclos de terapia con cinco inyecciones de AH de 500-730 kDa de peso molecular ha demostrado mejorar significativamente los síntomas de la artrosis, como el dolor y la impotencia funcional, y el efecto persiste durante al menos 6 meses tras la finalización del tratamiento. En algunos casos, la mejoría se ha evidenciado hasta 12 meses e incluso más (efecto remanente)[624]. Los hallazgos de los estudios preliminares sugieren que puede mejorar la fuerza muscular, el modo de andar y el equilibrio[625].

Existen diferentes trabajos que avalan la eficacia de la inyección intraarticular de AH para mejorar los síntomas de la osteoartritis de rodilla[626,627].

El AH también puede administrarse por vía oral, pero su eficacia está menos demostrada científicamente.

10.15.4. Bromelina

La bromelina es una endoproteinasa, cisteína proteasa. Las proteasas son enzimas que presentan efectos antiinflamatorios y antiedematosos gracias a su capacidad para iniciar el catabolismo proteico a través de la hidrólisis de los enlaces peptídicos que unen los AA en una cadena polipeptídica. La fuente de obtención de esta enzima es el extracto de piña.

Su acción antiedematosa se debe a que la bromelina digiere la fibrina, permitiendo así la eliminación del edema. Por otro lado, aumenta el tiempo requerido para la conversión de protrombina en trombina y la activación del plasminógeno, para transformarlo en plasmina. De esta manera previene la formación de fibrina y, por lo tanto, del edema.

Su acción antiinflamatoria es consecuencia de la inhibición selectiva que ejerce la bromelina sobre la generación de tromboxano (proinflamatorio), desequilibrando la relación tromboxano/prostaciclina a favor de la prostaciclina (antiinflamatoria). Así mismo, es capaz de disminuir las concentraciones de COX-2, reduciendo la inflamación por inhibición de la cascada del ácido araquidónico[628].

En el campo de la medicina deportiva, sus indicaciones están encaminadas fundamentalmente a prevenir o conseguir la disminución del dolor y el edema, y evitar la pérdida de fuerza.

Esta suplementación es especialmente eficaz cuando la retención hídrica es importante (series de carga aguda con creatina, segunda fase del ciclo menstrual de las deportistas, terapia hormonal con anovulatorios, etc.).

La toma de bromelina puede ser útil en personas que practican una actividad deportiva que requiere altos niveles de fuerza, con posibilidad de condicionar daño y dolor muscular[629] de aparición tardía, que también pueden producirse durante los entrenamientos de resistencia.

El protocolo de utilización es de 100 mg tomados antes del comienzo del esfuerzo físico y 50 mg tras finalizarlo, al inicio de la temporada deportiva o siempre que se vaya a realizar una modificación importante en el sistema de entrenamiento habitual, con aumento en el volumen o en la intensidad, como sucede en los cambios de mesociclos deportivos. Existen otros protocolos con evidencia limitada[613].

Su eficacia será mayor cuanto menos adaptado esté el individuo a las cargas de trabajo (deportistas noveles, inicios de temporada deportiva o individuos sedentarios o con bajo nivel de forma física al comienzo de su programa de entrenamiento) y en combinación con otros inhibidores de la proteasa.

No está demostrada su eficacia cuando se administra con las comidas. Es conveniente tomarla al menos 1 hora antes o después de las comidas, ya que de otra manera tiende a actuar como enzima digestiva y disminuir sus resultados terapéuticos[630].

10.16. Nitratos

Los nitratos son sales o ésteres del ácido nítrico presentes en el medio ambiente de forma natural, como consecuencia del ciclo del nitrógeno. Se forman por la descomposición de los compuestos nitrogenados, como las proteínas, la urea, etc.

Los nitratos se encuentran en muchos alimentos y la mayor fuente de consumo humano son las verduras y las hortalizas, y en menor medida el agua y otros alimentos. Algunas especies de vegetales acumulan los nitratos en sus partes verdes, como la lechuga, la rúcula y las espinacas. También son abundantes en la remolacha (betabel) y la zanahoria, entre otras hortalizas. Los nitratos se usan en agricultura como fertilizantes y como aditivos alimentarios autorizados[631].

Después de su consumo, el nitrato se convierte a nitrito en el interior del organismo. En condiciones en que la disponibilidad de oxígeno es baja, el nitrito puede convertirse en óxido nítrico, compuesto con propiedades vasodilatadoras, con un importante papel en el control vascular (disminución de la presión arterial) y metabólico.

El nitrato alimentario puede reducir la presión arterial y disminuir el volumen de oxígeno consumido durante el ejercicio. Es un suplemento cuyo uso está relacionado fundamentalmente con la mejoría del rendimiento deportivo en los trabajos prolongados submáximos, así como en los realizados a intensidad alta, de corta duración y repetidos de forma intermitente[632].

10.16.1. Mecanismo de acción

Los nitratos mejoran la biodisponibilidad de las vías que utilizan el óxido nítrico, y desempeña un papel importante en la modulación de la función del músculo esquelético[633].

Parece que el nitrato incrementa y optimiza la función de las fibras musculares de tipo II durante el ejercicio, reduce el gasto de energía durante la contracción muscular y aumenta la capacidad oxidativa mitocondrial[634].

10.16.2. Protocolos de uso y tiempo de utilización

La ingestión aguda de nitrato puede influir en el tono vascular y en la oxigenación del tejido periférico de forma rápida, pero se necesita un uso prolongado para conseguir variaciones en el sistema mitocondrial y en las proteínas contráctiles, y que todos estos cambios sean capaces de influir en el rendimiento deportivo[635,636].

La eficacia de la suplementación aguda con nitrato depende de varios factores, como la edad, la dieta, el estado de salud y físico (grado de entrenamiento), y la intensidad, duración y naturaleza del ejercicio realizado, así como de si este se efectuó en normoxia o hipoxia.

En la suplementación aguda a dosis altas (310-560 mg) se evidencia la mejoría a las 2-3 horas de administrarla.

Existe una pauta de suplementación prolongada, con la misma dosis citada, pero durante periodos superiores a 3 días, que se realiza durante la fase inicial del entrenamiento de carga[637].

10.16.3. Impacto en el rendimiento deportivo

Numerosos estudios han obtenido resultados positivos, con alto grado de evidencia, en el aumento del rendimiento deportivo con la suplementación con nitrato, tanto en deportes de larga duración como en actividades más cortas (menos de 40 minutos) y en ejercicios intermitentes con momentos de alta intensidad (deportes de equipo), con un retraso del tiempo hasta llegar a la fatiga del 4-25%[632,638-640].

Dado que su eficacia está basada en la mejora de la función de las fibras musculares de tipo II, su aporte está especialmente indicado en los entrenamientos de gran intensidad e intermitentes (entrenamientos de deporte de equipo de 12-40 minutos de duración)[641].

Algunos autores no han encontrado mejoría en el rendimiento al administrarlo de forma aguda antes de un ejercicio de larga duración[642,643].

10.16.4. Seguridad

El nitrito y el nitrato se producen naturalmente en los vegetales y ocasionalmente también se agregan a las carnes curadas y procesadas para mejorar el aspecto y retrasar su deterioro. El nitrato puede transformarse en nitrito por reducción bacteriana tanto en los alimentos (durante el procesado y el almacenamiento) como en el propio organismo (en la saliva y en el tracto gastrointestinal). El nitrato en sí es relativamente poco tóxico; la toxicidad viene determinada por su conversión a nitrito y la potencial formación de nitrosaminas, por lo que existe debate sobre la seguridad del nitrito ingerido[644].

Hay muy pocos estudios sobre los efectos de la suplementación con nitrato en la dieta de los deportistas y la producción de nitrosaminas[639], pero es pertinente señalar que cualquier posible efecto dañino es inhibido muy eficazmente por los antioxidantes que acompañan al nitrato en las verduras[645].

Sin embargo, aunque el nitrato en sí no es tóxico debido a su limitada y lenta conversión a nitrito, existe la posibilidad de toxicidad con el uso accidental o incontrolado de sales de nitrito[646].

La opinión de los expertos es que los suplementos de nitrato con productos vegetales, como el jugo de remolacha, es muy poco probable que sea perjudicial[647].

10.16.5. Efectos secundarios

Los estudios publicados no muestran efectos secundarios ni limitaciones en la suplementación de nitrato a las dosis indicadas y a

corto plazo, salvo sensibilidad gastrointestinal en algunos casos, que es dependiente de la dosis.

Existe un límite superior a partir del cual su consumo no parece aportar mayor ventaja ni mejoría en ningún parámetro del rendimiento deportivo (dosis mayores de 16,8 mmol, esto es, 1.041 mg/día).

Los beneficios de su suplementación son menores cuanto más entrenada esté la persona.

La EFSA ha evaluado el riesgo del consumo de nitratos para la salud humana y ha establecido como valor de referencia toxicológico una ingesta diaria admisible de 3,7 mg/kg de peso corporal, aunque reconoce que la evidencia de que el consumo elevado de nitritos se asocie con un mayor riesgo de desarrollo de cáncer puede ser ambigua y confusa, y necesita revisiones constantes[648].

Esto puede parecer una contradicción, ya que por un lado la ingestión de nitratos a dosis relativamente elevadas aumenta el rendimiento deportivo, pero por otro lado la ingesta diaria admisible establecida por la EFSA es muy inferior a esta cifra y las autoridades aconsejan evaluaciones periódicas sobre el tema.

En su opinión de 2008, el Panel de Contaminantes en la Cadena Alimentaria de la EFSA, que evaluó los riesgos y los beneficios del consumo de productos vegetales debido a su contenido en nitratos, concluyó que los efectos beneficiosos del consumo de estos alimentos supera el posible riesgo para la salud humana derivado de la exposición a los nitratos a través de estos vegetales en la población general. Dado que la población más vulnerable al efecto toxicológico de los nitratos es la infantil, la EFSA complementó la citada opinión en 2010 con un dictamen[649] sobre los posibles efectos agudos de los nitratos en los niños pequeños que consuman espinacas y lechuga.

10.17. Otras ayudas ergogénicas

10.17.1. Lecitina

Es un suplemento nutricional que se encuentra en el aceite de soja y en la yema de huevo, y es un aditivo común de muchos productos alimenticios, aunque también se produce en el organismo en el hígado. La lecitina está compuesta por una mezcla de fosfolípidos, siendo el más común la fosfatidilcolina. Es una fuente rica de vitaminas del grupo B (especialmente de colina o vitamina B7) y de minerales como hierro, calcio y fosforo.

La lecitina de soja ejerce numerosos efectos sobre la salud (disminución del colesterol y de los triglicéridos), pero en el ámbito deportivo cobra importancia por incrementar las concentraciones plasmáticas de colina, que disminuyen en los deportes de resistencia, lo que se asocia a una disminución del neurotransmisor acetilcolina y a un descenso en el rendimiento deportivo. Por tanto, la lecitina, de forma indirecta, tendría efecto ergogénico[650,651].

También existen estudios que utilizan la lecitina para frenar el dolor osteomuscular[652].

Se encuentra en forma de cápsulas, ampollas y granulado. La dosis habitual de lecitina en cápsulas y ampollas suele ser de unos 2.200 mg/día repartidos en dos tomas junto con las comidas.

En España[350] se permite su presencia en complementos alimenticios, sin limitación de la dosis diaria.

10.17.2. Jalea real

La jalea real es el nutriente que destinan las abejas para alimentar a las larvas durante sus primeros días de vida y a la reina durante toda su vida. Está compuesta por agua (50-60%), proteínas (18%) y HC (15%), y es muy rica en vitaminas del grupo B (especialmente ácido pantoténico o B5), vitaminas antioxidantes A, C y E, y minerales[653].

La jalea real se ha utilizado tradicionalmente como estimulante y tonificante por sus posibles propiedades sobre el sistema central, proporcionando energía y vitalidad, y mejorando la concentración mental. Según algunos autores, aumenta la resistencia a la fatiga y es un importante estimulante del sistema inmunitario, lo que ayuda a reforzar las defensas del organismo, muy importante en deportistas[654]. También se le han adjudicado propiedades antibacterianas, antiinflamatorias, inmunomoduladoras y antioxidantes[655-657].

En estos momentos no existe ninguna evidencia científica que relacione el consumo de jalea real con el rendimiento deportivo, aunque es un suplemento muy utilizado por deportistas durante los entrenamientos intensos para combatir el estrés y el cansancio.

En España[350] se permite su presencia en complementos alimenticios, sin limitación de dosis diaria.

11. Evidencias de consenso

Solo se reseñan en la Tabla 6 las sustancias que disponen de suficientes evidencias científicas para ser recomendadas como ayudas ergogénicas en el deporte; las no reseñadas es porque carecen de evidencia científica o no están recomendadas.

En las Tablas 7 y 8 se detallan otros componentes específicos con fuerte evidencia científica de su papel como ayuda ergogénica.

Tabla 6. Evidencias de consenso.

Sustancia	Evidencia	Grado de evidencia
Alimentación general		
	No tomar suficiente cantidad de calorías ni el tipo adecuado de macronutrientes puede dificultar o impedir la adaptación al entrenamiento del deportista.	A
	Los deportistas que consumen una dieta equilibrada con la energía suficiente pueden aumentar la adaptación fisiológica al entrenamiento.	A
	Mantener un consumo energético insuficiente durante los entrenamientos puede producir pérdida de masa muscular y de fuerza, y un aumento de la susceptibilidad a padecer ciertas enfermedades.	A
Hidratos de carbono		
	El consumo de HC en la comida antes del ejercicio supone la mejora del rendimiento deportivo.	A
	El consumo de HC durante el ejercicio de más de 1 hora de duración produce una mejora en la respuesta metabólica y un aumento del rendimiento deportivo.	A
	El consumo de dietas con alto contenido de HC (>65% del aporte energético; 0,8-1,0 g de HC/ kg) durante el periodo de recuperación aumenta las concentraciones plasmáticas de glucosa y de insulina, y aumenta la resíntesis de glucógeno muscular.	A
	Es importante tomar HC durante el ejercicio físico, en particular en esfuerzos superiores a 1 hora, así como inmediatamente después de finalizarlo.	A
	La administración de HC en los primeros 30 minutos tras finalizar el ejercicio y su administración cada 2 horas hasta alcanzar las 6 horas posteriores al término de la actividad deportiva consigue altas concentraciones de glucógeno muscular y hepático.	A
	El tipo de HC afecta a la síntesis de glucógeno después del esfuerzo. La glucosa con fructosa es más efectiva que la fructosa sola.	A
Bebidas para el deportista		
	La reposición más importante en relación con el esfuerzo físico es el restablecimiento de los fluidos perdidos.	A
	La actividad física aumenta la producción de sudor, lo que produce pérdida de agua y electrolitos, en especial en condiciones adversas de termorregulación.	A
	La deshidratación disminuye el rendimiento deportivo.	A
	Las bebidas especialmente diseñadas para el deportista aumentan el rendimiento deportivo.	
	Ante una elevada tasa de sudoración, la rehidratación con agua sola no resuelve el problema e incluso puede agravarlo por una hiponatremia.	A
	El sodio es el único ion que ha demostrado su eficacia en estudios de reposición de líquidos.	A
	El aporte de HC en las bebidas de rehidratación mejora el rendimiento del deportista.	A
	Tanto la adecuada osmolalidad de la bebida como la correcta concentración en HC y sodio, y el beber la cantidad adecuada, son factores clave para un rápido vaciado gástrico rápido y una absorción óptima.	A
	La carga energética de la bebida es muy importante, por lo que hay que respetar que las bebidas no sobrepasen las 350 kcal/l para evitar un vaciado gástrico lento y una restitución hídrica insuficiente.	A
	La presencia de proteínas en las bebidas para después de un entrenamiento o competición favorece el anabolismo muscular.	A
	En el caso de las bebidas para recuperar el líquido y los elementos perdidos después del esfuerzo, se recomienda ir a los niveles altos, tanto de energía (300-350 kcal/l) como de sodio (40-50 mmol/l).	A
	Es conveniente añadir el ion potasio en las bebidas de reposición tras el esfuerzo físico, ya que ayuda a retener el agua en el espacio intracelular, aunque su concentración no debe exceder los 10 mmol/l. También se pierde magnesio, y su disminución en plasma puede estar implicada en la aparición de calambres musculares.	B
	La ingestión de bebidas diversas favorece una mayor rehidratación al aumentar la ingesta hídrica (mayor apetencia).	B
	La temperatura óptima del líquido para beber es de 15-22 °C.	B
	Puede ser conveniente la presencia de antioxidantes en las bebidas de reposición.	C
Proteínas		
	Existe una relación de causa-efecto entre la ingesta diaria de proteínas y el aumento o el mantenimiento de la masa muscular.	A
	La fracción proteica del suero de leche tiene un marcado carácter anabólico.	A
	Las WP aumentan el depósito de glucógeno, por lo que tienen un papel importante tras la realización de esfuerzos de larga duración.	A

(continúa)

(continuación)

Sustancia	Evidencia	Grado de evidencia
Minerales		
	Las recomendaciones de ingestas diarias de minerales para la población general son extensibles a quienes realizan actividad física o practican deporte.	A
	Los límites máximos de seguridad establecidos para la población general son extensibles a quienes realizan actividad física o practican deporte.	A
	Pueden ser necesarios suplementos para los deportistas que restringen de forma severa el consumo de energía mediante la eliminación de algún grupo de alimentos con el fin de perder peso.	A
	Pueden ser necesarios suplementos para los deportistas que consumen dietas de alto contenido en HC con densidad baja de micronutrientes.	A
	Los deportistas no necesitarán suplementos minerales si consumen energía suficiente para mantener el peso corporal adecuado mediante una alimentación variada y equilibrada.	C
Vitaminas		
	La suplementación no mejora el rendimiento si el deportista tiene una ingesta normal.	A
Ácidos grasos		
	El deportista que entrena en disciplinas de medio fondo y de fondo, al incrementar el volumen de entrenamiento, aumenta la obtención de energía a partir de los AG.	A
	En la dieta, una ingesta elevada de grasas y baja de HC no mejora el rendimiento deportivo.	A
	La presencia en la dieta de AG estructurados de cadena larga disminuye la utilización de HC durante el esfuerzo.	B

Tabla 7. Sustancias con evidencia (grado A) de aumento del rendimiento deportivo.

Sustancia	Efectos beneficiosos	Dosis	Efectos adversos
Beta-alanina Aminoácido precursor de la carnosina; actúa frente a la acumulación de protones en el músculo tras la actividad física. Presenta efecto tampón intracelular, con mejora del rendimiento en el ejercicio de alta intensidad.	Mejora del rendimiento (0,2-3%) durante actividades continuas o intermitentes de entre 30 segundos y 10 minutos de duración. Efectos más pronunciados en actividades con duración de entre 1 y 4 minutos. Atenúa la fatiga neuromuscular, sobre todo en sujetos mayores. Su efecto se potencia al combinarla con otras sustancias (bicarbonato o creatina).	65 mg/kg de peso y día (4-6 g/día) divididos en 3-4 tomas de 0,8-1,6 g cada una, durante un periodo ideal de 10-12 semanas (mínimo 2-4 semanas).	En algunos casos parestesias y sarpullidos. Poco frecuente; muy raros en deportistas de alto nivel.
Creatina (monohidrato) Se encuentra en la carne y el pescado, pero también es producido por el organismo a partir de la glicina, la arginina y la metionina en el hígado, el páncreas y los riñones. La fosfocreatina es una molécula esencial para la síntesis de ATP.	Aumento de la fuerza isométrica máxima. Mejora del rendimiento en series consecutivas de alta intensidad (<150 segundos de duración) con efectos más pronunciados en actividades de menos de 30 segundos. La hidratación y expansión celular atenúan el catabolismo y estimulan la síntesis proteica, favoreciendo procesos de regeneración e hipertrofia Mejora la estabilidad de las membranas celulares atenuando el daño producido por el ejercicio . Facilita la liberación de iones calcio del retículo sarcoplasmático agilizando los procesos de contracción-relajación y mejorando la eficacia del trabajo porque la fibra se vuelve a estimular en menos tiempo. Aumento de la masa muscular y mejora de la fuerza y la potencia. Aumento de la velocidad de recuperación y retardo de la aparición de fatiga en trabajos intensos y repetidos con pausas menores de 30 segundos de recuperación. Menos frecuente: mejora del rendimiento durante ejercicios de resistencia como resultado de una mayor síntesis de proteínas, almacenamiento del glucógeno y termorregulación.	Se recomienda 0,3 g/kg de peso. Fase de carga rápida: 20-30 g repartidos en cuatro tomas, durante 5-7 días. Fase de mantenimiento o de carga lenta: 3-5 g diarios en una sola toma (en general después del entrenamiento de fuerza) durante al menos 4 semanas o según el nivel de entrenamiento del sujeto. La elección de la forma de carga depende del criterio del profesional que paute su toma. Quien realice carga rápida, después continuará con la de mantenimiento Nota: la asociación de creatina con 50 g de HC de alto índice glucémico potencia su efecto anabólico, ya que eleva las concentraciones de insulina.	Aumento de peso por retención hídrica. El consumo de cafeína disminuye su eficacia. Consecuencias a largo plazo desconocidas.
Nitratos Los nitratos son sales o esteres del ácido nítrico que se encuentran en grandes cantidades en vegetales de hoja verde y en la remolacha; estas moléculas se transforman por reducción en óxido nítrico a lo largo del aparato digestivo. El óxido nítrico provoca vasodilatación y aumenta el transporte de oxígeno. Estos efectos producen una mejora del rendimiento, especialmente en ejercicios aeróbicos.	Retraso de la aparición de fatiga (4-25%) en actividades de larga duración. Aumento del rendimiento (1-3%) en actividades con duración inferior a 40 minutos. Aumento de la función muscular de las fibras de tipo II, con mejora de un 3-5% del rendimiento, en actividades de equipo (ejercicios intermitentes con momentos de alta intensidad) de entre 12 y 40 minutos de duración.	310-560 mg de zumo de remolacha natural o 70-140 ml de zumo de remolacha concentrado (que corresponden a 5-13 mmol de nitrato. Ingerir en una sola toma, 2-3 h antes del ejercicio o entrenamiento. Forma de presentación: zumo natural, zumo concentrado, comprimidos y polvos para disolver en agua.	Molestias gastrointestinales en deportistas con predisposición a alteraciones de este sistema. Efectos ergogénicos menos pronunciados en deportistas de muy alto nivel. Interferencia en la eficacia (que se ve reducida) tras el uso de enjuagues bucales que alteran la flora bacteriana de la boca, ya que esta se encarga de la primera reacción de reducción de los nitratos.

(continúa)

(continuación)

Sustancia	Efectos beneficiosos	Dosis	Efectos adversos
Cafeína Alcaloide del grupo de las xantinas, que estimula el SNC mediante el aumento de las catecolaminas y endorfinas. Puede reducir la concentración de potasio intracelular, retrasando la aparición de la fatiga.	Aumento de la movilización de AG y utilización de la grasa, lo que ahorra el gasto de HC durante el ejercicio. Mejora de la función neuromuscular y de la contracción del músculo esquelético. Aumento de la capacidad de resistencia en actividades con duraciones variables (5-150 minutos), como ciclismo, atletismo y remo, entre otras. En dosis bajas, mejora aspectos cognitivos, como el estado de alerta, la concentración, el tiempo de reacción, el aprendizaje motor y la memoria reciente, y se reduce la percepción del esfuerzo realizado. Mejora del 3-7% el rendimiento cuando es consumida durante un ejercicio prolongado (después de 15 minutos de iniciado). Mejora de más del 3% de los tiempos en los esprints únicos o repetidos. También mejora la precisión en el pase de fútbol.	*Pautas:* • 3-6 mg/kg de peso (150-300 mg), en forma de cafeína pura, consumida unos 60 minutos antes del inicio del ejercicio físico, mejoran el rendimiento. • Dosis de hasta 3 mg/kg de peso (200 mg), en combinación con una fuente de HC, 1 hora antes del ejercicio físico, incrementan la capacidad de resistencia. • Dosis de 4 mg/kg de peso, 1 hora antes del ejercicio, reducen la percepción del esfuerzo realizado. Mejor administrar como cafeína pura, puesto que en infusión (café), a las mismas dosis, los resultados son peores. Forma de presentación: infusiones, refrescos, bebidas energéticas, preparados farmacológicos como sustancia única o en asociación con otros principios, chicle, geles…	Las dosis de más de 9 mg/kg se aproximan al valor tóxico, y pueden provocar alteraciones gastrointestinales, insomnio, nerviosismo, irritabilidad, arritmias y alucinaciones, entre otros síntomas.
Bicarbonato de sodio y citrato Capacidad tamponadora extracelular y de mejora del flujo de hidrogeniones entre el músculo y la sangre. Aumenta el umbral de lactato y previene la fatiga muscular en ejercicios de predominio anaeróbico láctico.	Mejora del rendimiento (2%) en esprints de alta intensidad de unos 60 segundos de duración, con una eficacia reducida en actividades de más de 10 minutos. Retrasa la fatiga en esfuerzos de alta intensidad y duración de 1-15 minutos.	*Pautas:* • Dosis única de 0,2-0,4 g/kg de peso, ingerida 60-150 minutos antes del ejercicio físico. • Dosis fragmentada en 2-4 tomas en un periodo de 30-180 minutos antes del ejercicio.	Molestias gastrointestinales en sujetos susceptibles (dolor epigástrico, diarrea, náuseas). (Bicarbonato sódico).
Ácidos grasos poliinsaturados, omega-3 y omega-6 Ácidos grasos con más de dos enlaces insaturados. No se producen de manera endógena en cantidades suficientes, por lo que tienen que ser aportados por la dieta.	Mejora del sistema inmunitario Efectos antiinflamatorios después del ejercicio físico. Aumento de la síntesis de proteínas.	800-1.200 mg/día en cualquier momento del día, aunque es preferible por las mañanas. Se encuentra disponible en cápsulas de diferentes ácidos grasos.	No se conocen efectos negativos.

Tabla 8. Sustancias con evidencia (grado B) de aumento del rendimiento deportivo.

Sustancia	Efectos beneficiosos	Dosis	Efectos adversos
Carnitina La forma activa es la L-carnitina.	Papel lipolítico en mujeres con un porcentaje de grasa superior al 20% y en hombres superior al 15%.	750-1.000 mg, 60 minutos antes de realizar un ejercicio aeróbico de duración superior a 30 minutos a un 50-75% de intensidad máxima. L-carnitina + L-tartrato: dosis de 1.000-4.000 mg L-carnitina + propionil: dosis de 400-1.000 mg. Una suplementación diaria de 2.000 mg es segura.	Los productos comercializados con DL-carnitina pueden tener efectos parcialmente tóxicos.
Citrulina Precursor de la arginina, que puede ser obtenida de manera exógena (alimentos y suplementos) o endógena (a través de la glutamina o de la conversión de arginina a óxido nítrico). Una vez ingerida, incrementa las concentraciones plasmáticas de arginina, nitrito y ornitina.	Aumento de la fuerza máxima, la potencia y el número de repeticiones Potenciador del rendimiento, precursor del óxido nítrico, amortigua la acción del lactato, retrasa el umbral de fatiga y contribuye en la recuperación muscular y la disminución del dolor muscular después del ejercicio físico.	6-8 g/día de malato de citrulina, entre 30 minutos y 1 hora antes del inicio del esfuerzo físico. Se encuentra disponible en cápsulas, comprimidos y polvos . En caso de tomar arginina, la dosis es de 3-5 g/día, en una sola toma, media hora antes del ejercicio, o en dos tomas, dividiendo la cantidad y tomando la segunda dosis por la noche, antes de acostarse.	Molestias gastrointestinales.
Arginina Aminoácido no esencial componente de la creatina	Potencia la recuperación después de sesiones de ejercicio muy exigentes, al aumentar el flujo sanguíneo a través del tejido conectivo, ayuda a eliminar compuestos nitrogenados Induce la secreción de hormona del crecimiento. Promueve la síntesis de creatina Promueve la producción de óxido nítrico.	3-8 g/día, 30-60 minutos antes de la actividad deportiva, o antes de acostarse para aumentar la hormona del crecimiento. Se encuentra disponible en cápsulas y polvos.	La toma de más de 9 g/día puede causar molestias gastrointestinales y disminuir la presión arterial.
β-hidroxi-β-metil-butirato Metabolito de la leucina En el organismo, solo un 5% de la leucina aportada por la dieta es transformada en HMB.	Mejora la síntesis de proteína muscular. Mejora la recuperación después del ejercicio, permitiendo entrenamientos con más volumen. Reducción del catabolismo muscular, ganancia de masa libre de grasa y de fuerza en sujetos sedentarios al iniciar el periodo de entrenamiento.	2-4 g/día, 30-60 minutos antes de la actividad física o inmediatamente después de realizarla. Se encuentra disponible en cápsulas y polvos.	No se han observado efectos negativos de la suplementación con HMB. Efectos positivos más pronunciados en personas con peor forma física.
Aminoácidos ramificados Su cadena lateral es un grupo alifático ramificado. Son los primeros AA que se degradan durante un esfuerzo muscular.	La ingestión de AA ramificados antes y después del ejercicio tiene un efecto anticatabólico y disminuye el daño muscular inducido por el ejercicio. La ingestión de AA ramificados tiene un efecto anabólico y estimula la síntesis proteica. Relacionados con la fatiga central, particularmente en esfuerzos con alta carga de calor ambiental. Puede existir un aumento del tiempo hasta el agotamiento, cuyo efecto es mayor en deportistas poco entrenados. Parece que la ingestión de AA de cadena ramificada disminuye ligeramente la utilización de glucógeno (por aumento de la lipólisis).	10-20 g/día o 140 mg/ kg de peso corporal, en dos tomas, antes y después del ejercicio. Se presenta en comprimidos, cápsulas y polvos.	No se han observado efectos negativos de la suplementación con AA de cadena ramificada.

(continúa)

(continuación)

Sustancia	Efectos beneficiosos	Dosis	Efectos adversos
ATP (trifosfato de adenosina) El ATP es la fuente principal de energía para las células. Su suplementación puede mejorar la capacidad de mantener una alta concentración de ATP durante el ejercicio de alta intensidad	Aumento de la fuerza muscular Incremento de la resistencia en ejercicios aeróbicos. Reduce la fatiga física. Potencia la vasodilatación: aumenta el flujo sanguíneo y la oxigenación de los tejidos.	200-400 mg/día, 30-60 minutos antes del ejercicio, a ser posible con el estómago vacío, durante 8 semanas. Hay diferentes formas de presentación.	No se han observado efectos negativos de la suplementación con ATP.
Glutamina	Tiene un efecto antiproteolítico en los deportistas sometidos a entrenamientos con gran destrucción muscular. Estudios *in vitro* han demostrado que favorece la recuperación de las fibras musculares, evita procesos catabólicos en situaciones de estrés metabólico y disminuye la posibilidad de infecciones.	5-10 g/día, repartidos al menos en dos tomas: 1 hora antes del entrenamiento o de la sesión deportiva y al finalizar el ejercicio. No es recomendable la toma de más de 15 g/día, cifra que se considera como límite máximo. Se inicia la toma con 30 mg/kg de peso al día en una sola toma, después de entrenar, para comprobar la tolerancia.	Se considera un complemento seguro a las dosis recomendadas. Las personas sensibles al glutamato monosódico deben usar la glutamina con precaución.
Taurina Podría mejorar el rendimiento aeróbico.	Interviene en el mecanismo de excitación-contracción del músculo esquelético y mejora la transmisión de la señal eléctrica hacia las fibras musculares. Esto asegura un rendimiento muscular óptimo. Actúa como un importante agente antioxidante y mejora el normal funcionamiento del sistema de defensa del organismo. Hay estudios que la relacionan con una disminución de la lesión muscular durante la actividad física Altas concentraciones de taurina aumentan la actividad de la insulina plasmática, con lo que disminuye la glucosa sanguínea y se incrementa la reserva hepática de glucógeno.	0,5-1 g, tres veces al día, para mejorar la carga de glucógeno. 1-6 g en una dosis única, para aumentar el rendimiento aerobio.	No se conocen serios efectos colaterales a las dosis habituales de 1-3 gramos/día. Según la EFSA, el NOAEL *(No Observed Adverse Effects Level)* es de 1 g/kg de peso.
Minerales (magnesio, zinc)	El magnesio contribuye al buen funcionamiento de la contracción y la relajación del músculo, y a la mejora de la masa muscular. El zinc está relacionado con la producción de testosterona, la mejora del rendimiento muscular y efectos antiinflamatorios y antioxidantes.	Magnesio: 250 mg/día, en una sola toma, por la noche. Existen diferentes preparados comercializados: aspartato, bisglicinato, cloruro, citrato, gluconato, glicerofosfato, lactato pidolato, carbonato, hidróxido y óxido. Zinc: 10-40 mg/día.	El magnesio en exceso produce diarrea. El zinc en exceso puede provocar una disminución del colesterol ligado a lipoproteínas de alta densidad y un aumento del riesgo de enfermedades cardiovasculares. Por lo general solo es eficaz en casos de carencias en estos minerales.
Vitamina D Es una vitamina esencial liposoluble. Incrementa la absorción de calcio y de fósforo; interviene en la mineralización y el crecimiento de los huesos; importante en la función muscular; conocida por influir en varios aspectos de la inmunidad, en particular en la inmunidad innata (por ejemplo, la expresión de proteínas antimicrobianas).	Función de regulación mitocondrial en el músculo esquelético. Función de reparación muscular. Los estudios indican que tendría un papel en la recuperación muscular, pero estos estudios todavía son inconsistentes. La suplementación con vitamina D y calcio puede prevenir la pérdida de densidad mineral ósea y reducir el riesgo de fracturas de estrés, si existe déficit.	1.000-3.000 UI/día = 25-75 µg La necesidad de suplementación depende de la exposición a la luz solar y del tipo de piel. Si es necesaria, se recomiendan 1.000 UI/día de otoño a primavera.	En deportistas con déficit y que realizan suplementación con altas dosis durante periodos cortos de tiempo (50.000 UI/semana, 8-16 semanas), es necesario un control para evitar la toxicidad.

(continúa)

(continuación)

Sustancia	Efectos beneficiosos	Dosis	Efectos adversos
Vitamina C Es una vitamina antioxidante hidrosoluble esencial. Reduce las respuestas de la interleucina-6 y del cortisol al ejercicio en humanos. Interviene en la liberación de la energía, en el buen funcionamiento del sistema inmunitario y la protección frente a los radicales libres (especies reactivas de oxígeno), mejora la absorción del hierro, buen funcionamiento del sistema nervioso, de la salud de los huesos y de las articulaciones, y reducción del cansancio y de la fatiga.	Efecto antioxidante. Puede mejorar el sistema inmunitario cuando se realiza ejercicio de alta intensidad, disminuyendo la incidencia de infecciones de vías respiratorias altas. La suplementación con gelatina, vitamina C y colágeno parece que podría aumentar la producción de colágeno y disminuir el dolor articular.	Mejora del sistema inmunitario: 200-500 mg/día. Mejora de la producción de colágeno y disminución del dolor articular: 5-15 g de gelatina, 50 mg de vitamina C y 10 g de colágeno al día.	Efectos negativos si la toma es excesiva.
Vitamina E Es una vitamina antioxidante liposoluble que actúa como antioxidante, influye en la respuesta celular frente al estrés oxidativo durante el ejercicio intenso, previene la destrucción de los glóbulos rojos y parece que mejora la liberación de oxígeno al músculo durante el ejercicio.	Efecto antioxidante. Mejora el rendimiento en altitud.	400 UI/día = 267 mg de α-tocoferol equivalentes. En general se recomiendan 12 mg/día, hasta 300 mg/día. En altitud, las dosis son de 300-400 mg/día, durante 4-6 semanas.	Efectos negativos con tomas excesivas (efecto prooxidativo).
Riboflavina o vitamina B2 Participa en las reacciones de obtención de energía y contribuye a la reducción del cansancio y de la fatiga. Aumenta la disponibilidad de energía durante el metabolismo oxidativo, al tiempo que protege a las células del estrés oxidativo.	En corredores de ultradistancias, la suplementación al inicio del ejercicio y a mitad de la prueba (km 90) produce disminución del dolor y de la fatiga muscular, en comparación con un placebo.	100 mg al inicio de la prueba y 100 mg a mitad de la prueba (km 90).	No constan.
Ácido fosfatídico Es la molécula a partir de la cual se forman los fosfoglicéridos, así como el punto de partida para la síntesis de triacilgliceroles (triglicéridos).	Mejora la síntesis de proteína muscular (propiedades anabólicas y anticatabólicas).	750 mg/día.	No se han observado efectos negativos de la suplementación con ácido fosfatídico.
Antioxidantes Las **catequinas** se encuentran en grandes cantidades en el té verde. Se han asociado con efectos sobre la pérdida de peso, por aumento del gasto energético (termogénesis) y estimulación del tejido graso marrón.	La ingestión crónica, no aguda, aumenta el potencial antioxidante y mejora el estrés oxidativo y el daño muscular inducido por el ejercicio extenuante. El consumo diario parece que también aumenta la capacidad aeróbica, combinado con ejercicio ligero en hombres sanos no deportistas.	570 mg de catequinas al día, en 500 ml de bebida, equivalente a 6-7 tazas al día de té verde, durante 8 semanas.	La ingesta excesiva podría impedir las adaptaciones fisiológicas al entrenamiento físico.

(continúa)

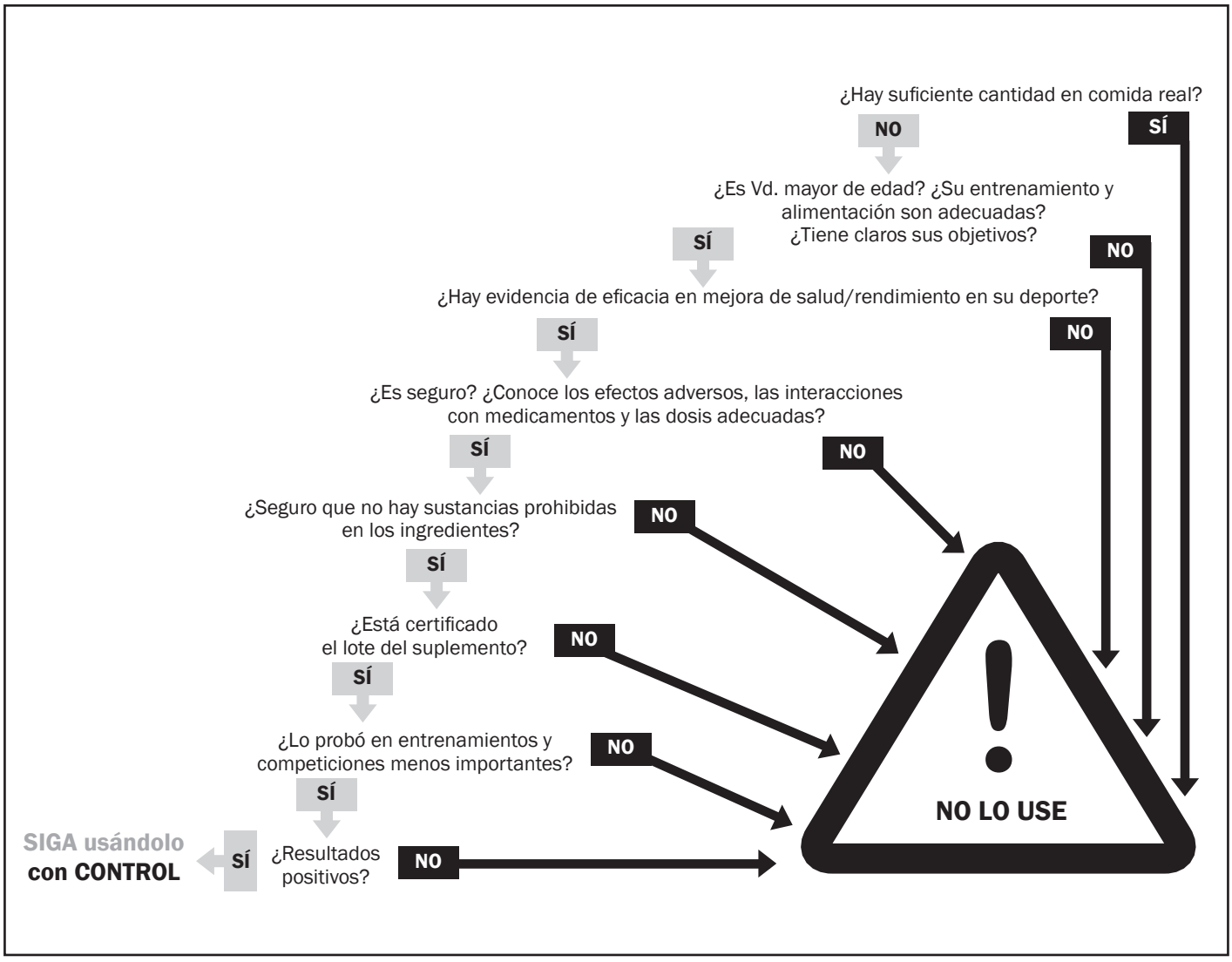
(continuación)

Sustancia	Efectos beneficiosos	Dosis	Efectos adversos
Antioxidantes Los **antocianósidos** son polifenoles presentes en los frutos rojos (arándanos, frambuesas, zarzamoras), las cerezas y la uva moscatel), con potentes efectos antioxidantes y antiinflamatorios.	Potente efecto antioxidante y antiinflamatorio. Aceleran la recuperación del daño muscular inducido por el ejercicio. En combinación con la quercetina, parecen ser un tratamiento efectivo y de baja toxicidad para problemas musculoesqueléticos.	250-350 ml de jugo de cerezas, dos veces al día, durante 4-5 días antes de un evento deportivo o bien 2-3 días después de este.	No constan.
Probióticos Las bacterias con actividad probiótica son en general lactobacilos y bifidobacterias, estreptococos, ciertas clases de *Escherichia* y otros organismos no bacterianos, como *Saccharomyces boulardii.* Las dos especies principales utilizadas comercialmente son *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Los probióticos pueden obtenerse de los alimentos y de los complementos alimenticios.	Los suplementos de probióticos pueden resultar beneficiosos para los deportistas fatigados, o durante un tratamiento antibiótico o con una deficiencia inmunitaria identificable, ya que al interaccionar con el sistema inmunitario mejoran los procesos de diarreas y colitis ulcerosa, por lo que su uso podría ser interesante para los deportistas en periodos de competición, en los que deben viajar con frecuencia y pueden presentar procesos diarreicos de distintas etiologías, pero su eficacia en el rendimiento deportivo de aquellos en los que ya es óptimo aún está por establecerse.	La dosis efectiva es de 10^9-10^{10} unidades formadoras de colonias por día. Esta concentración corresponde a aproximadamente 1 litro de leche *acidophilus* (formulación estándar de 2×10^6 unidades vivas/ml). El período de vida útil de la mayoría de los productos probióticos es de 3-6 semanas si se mantienen a 4 °C. Si se trata de comprimidos secos (enterocápsulas), la validez de estos complementos se establece en unos 12 meses, pero la cantidad de probióticos puede disminuir significativamente durante este tiempo.	Se debe extremar la precaución de su uso en deportistas con antecedentes de problemas del tracto gastrointestinal (enfermedad celíaca, síndrome de intestino irritable…), dado que existe riesgo de aumento de la irritabilidad intestinal.
Melatonina Es una hormona peptídica (5-metoxi-N-acetil-triptamina), producida principalmente en la glándula pineal, que ejerce una función sobre todo antioxidante a través de distintos mecanismos y reguladora de los ritmos circadianos.	Efecto regulador del sueño y del ritmo circadiano cuando se producen desincronizaciones del patrón de sueño. Efecto antioxidante (neutralización de radicales libres, potenciación de otros antioxidantes, y estimulación de la actividad de enzimas antioxidantes) y antinflamatorio sobre citocinas proinflamatorias.	5-30 mg/día en una sola toma por la noche, 1 hora antes de acostarse. Las presentaciones disponibles no suelen superar los 1-2 mg, por lo que hay que prescribir formulaciones especiales para las dosis indicadas.	Puede producir somnolencia cuando se ingiere durante el día, y afectar negativamente al rendimiento.

12. Diagrama de decisión

El diagrama (Figura 2) muestra la secuencia lógica de la toma de decisiones referentes a la nutrición y el uso de suplementos alimenticios en deportistas en cuanto a las precauciones relacionadas con el dopaje.

Figura 2. Secuencia lógica de la toma de decisiones referentes a la nutrición y el uso de suplementos alimenticios en deportistas.



13. Recomendaciones para el deportista que se entrena y compite

Recomendación n.º 1

Se recomienda al deportista consumir una dieta adecuada, variada y equilibrada en cantidad y calidad para optimizar la adaptación a los entrenamientos y la competición. Es muy importante la regularidad en la ingestión de alimentos y el ajuste correcto con los horarios de realización de la actividad deportiva.

Recomendación n.º 2

Se recomienda el consumo de HC antes, durante y después de la realización de ejercicio físico, en casos de esfuerzos intensos y de más de 1 hora de duración.

Recomendación n.º 3

Para optimizar la recuperación del glucógeno muscular gastado durante la actividad física se recomienda ingerir 6-8 g de HC/kg de peso al día.

Si el entrenamiento es muy largo (más de 2 horas) o de gran intensidad es conveniente incrementar el consumo de HC hasta 10 g/kg de peso al día. En entrenamientos extremos puede ser necesario aumentar la ingesta hasta 12 g/kg de peso al día.

Recomendación n.º 4

Se recomienda tomar HC en dosis de 1,0-1,2 g/kg de peso cada hora, durante las 4 horas posteriores a la finalización de un ejercicio muy intenso.

Recomendación n.º 5

Se recomienda beber líquidos antes, durante y después de la realización de ejercicio físico. Es fundamental que la persona que practique una actividad deportiva esté hidratada de forma correcta durante todo el día.

Recomendación n.º 6

Se recomienda beber entre 250 y 500 ml de agua o bebida para deportistas 2 horas antes del inicio de la actividad deportiva. Si el ambiente es caluroso y húmedo, es conveniente consumir al menos medio litro de líquido con sales minerales durante la hora previa al comienzo de la competición, dividido en cuatro tomas (aproximadamente 200 cm^3 de la bebida elegida cada 15 minutos). Si el ejercicio va a durar más de 1 hora, también es recomendable añadir HC a la bebida, especialmente en las dos últimas tomas.

Recomendación n.º 7

Durante el entrenamiento o la competición, la cantidad de líquido que hay que beber depende de la tasa de sudor de cada deportista, y por eso se recomienda que las personas que entrenan de forma habitual controlen su peso antes y después del esfuerzo físico, para conocer su necesidad de fluidos. También es útil observar la cantidad y la coloración de la orina, que puede dar una idea aproximada del grado de deshidratación.

Recomendación n.º 8

Si se desconoce la tasa de sudoración durante el entrenamiento o la competición, se recomienda tomar como mínimo 200-300 cm^3 de líquido cada 15-20 minutos (un volumen de aproximadamente 800 ml/h). Si el ambiente es muy caluroso y húmedo, hay que beber más.

Recomendación n.º 9

Durante el ejercicio se recomienda empezar la reposición de fluidos a los 15 minutos del comienzo de la actividad y seguir bebiendo cada 15-20 minutos. En entrenamientos o competiciones que duran más de 1 hora, o en los que, aunque cortos o intermitentes, sean muy intensos, se recomienda beber líquidos que contengan sodio en el rango de 20 mmol/l (460 mg/l) a 50 mmol/l (1.150 mg/l) en función del calor, la intensidad y la duración del esfuerzo físico realizado.

Recomendación n.º 10

Las bebidas para deportistas utilizadas durante los entrenamientos o en la propia competición deben tener un aporte calórico entre 80 y 350 kcal/l, de las cuales al menos el 75% deben provenir de HC de alta carga glucémica, como glucosa, sacarosa, maltodextrinas y, en menor medida, fructosa. Las diferencias de rango se establecen en función de las características del deporte, de las condiciones ambientales y de la propia individualidad del deportista (tolerancia, etc.). Estas bebidas deberían ser isotónicas (270-330 mOsm/kg de agua) o ligeramente hipotónicas (200-270 mOsm/kg de agua).

Recomendación n.º 11

Al finalizar el ejercicio hay que seguir bebiendo para reponer todo el fluido perdido. Se recomienda que la bebida contenga sodio, HC, proteínas y potasio. También puede contener cierta cantidad de magnesio.

Las bebidas de reposición utilizadas después del entrenamiento o de la competición deben tener un contenido calórico entre 300 y 350 kcal/l, de las cuales al menos el 75% deben provenir de HC de alta carga glucémica, como glucosa, sacarosa, maltodextrinas y, en menor medida, fructosa, con un contenido de ion sodio en el rango de 40 mmol/l (920 mg/l) a 50 mmol/l (1.150 mg/l). Asimismo, deben aportar ion potasio en el rango de 2-6 mmol/l, y cierta cantidad de proteínas (1,5%).

La reposición de los líquidos perdidos debe hacerse de forma gradual, durante las horas siguientes al término del esfuerzo físico. La variedad de bebidas, el buen sabor y la temperatura (entre 18 y 22 °C) facilitan su consumo y que se alcance una rehidratación óptima.

Recomendación n.º 12

Aunque las necesidades proteicas dependen del deporte practicado y de las características individuales de cada uno, en general se

recomienda que el deportista ingiera mayor cantidad de proteínas que las cantidades aconsejadas para la población general. Se puede considerar una cifra entre 1,2 y 1,8 g/kg al día.

Recomendación n.º 13

Debido a la presencia de grasa en la mayor parte de las fuentes proteicas de nuestra alimentación, una buena manera de aumentar la ingesta de proteínas sin incrementar la de grasa es mediante productos de concentrados proteicos.

Recomendación n.º 14

Si se precisa un aumento o el mantenimiento de la masa muscular, se necesita un ingreso proteico diario adicional; la fracción proteica del suero de leche tiene un marcado carácter anabólico.

Recomendación n.º 15

Se aconseja a los deportistas cubrir las necesidades en minerales y vitaminas mediante las cantidades establecidas en las recomendaciones para la población general, sin superar los límites máximos de seguridad establecidos.

Recomendación n.º 16

Se recomienda valorar la prescripción de la toma de suplementos de minerales y vitaminas en los deportistas que sigan dietas tanto con restricción severa de la energía como con elevado contenido en HC, que pueden no aportar una cantidad suficiente de micronutrientes. Cualquier tipo de dieta especial debe ser evaluada.

Recomendación n.º 17

Los deportistas que realizan ejercicio de alta intensidad deberían realizar suplementación de forma regular con vitamina C (200-500 mg/día), con el objetivo de mejorar su sistema inmunitario y disminuir la incidencia de infecciones de vías respiratorias altas.

Recomendación n.º 18

Se recomienda la suplementación con vitamina D y calcio para prevenir la pérdida ósea en deportistas susceptibles de presentar osteoporosis. La necesidad de suplementación con vitamina D dependerá de la exposición a la luz solar y del tipo de piel de los deportistas (clara u oscura).

Recomendación n.º 19

Se recomienda que la ingesta total de grasa en la dieta sea entre un 25% y un 35% de la ingesta energética total (dependiendo del tipo de deporte practicado y de las condiciones ambientales). La ingesta de grasas saturadas no debe pasar de un 10% de las grasas totales. Las poliinsaturadas deben constituir entre el 8% y el 10%; el resto deben ser monoinsaturadas. Como en la población general, la proporción de AG n6:n3 no debe superar 10:1, siendo adecuada 5:1. Los AG trans no superarán el 2% del total de la ingesta de grasa, excluyendo los naturalmente presentes en los alimentos de origen vegetal.

Recomendación n.º 20

La creatina ocupa un lugar importante en la mejora del rendimiento en los deportes que requieren esfuerzos de alta intensidad, corta duración y repetitivos.

En los deportistas que realizan este tipo de ejercicios puede estar recomendada la toma de creatina. La dosis y la duración de la suplementación dependerán de las necesidades individuales, y serán indicadas y controladas por un profesional.

Recomendación n.º 21

Los AA ramificados, en particular la leucina, pueden añadirse a las formulaciones de dietas antes, durante y después del entrenamiento, por sus especiales cualidades anabólicas sin la presencia de insulina, y su rápida absorción y utilización muscular.

Recomendación n.º 22

La cafeína mejora tanto el rendimiento físico en las actividades de resistencia como otras cualidades, entre las que se encuentran el estado de alerta, la concentración, el tiempo de reacción, el aprendizaje motor y la memoria reciente. Además, también puede mejorar diversos aspectos del rendimiento en deportes de equipo, como la habilidad en el esprint único o repetido, el tiempo de reacción y la precisión en el pase de fútbol.

Se recomienda elegir el momento adecuado de ingestión y la cantidad precisa, con el fin de conseguir la eficacia buscada y no interferir en la conciliación del sueño ni provocar nerviosismo.

Recomendación n.º 23

En los deportistas con síntomas de osteoartritis, como dolor e impotencia funcional, se recomienda suplementar con SYSADOA en las dosis precisas, monodosis, solos o combinados, durante un periodo inicial de 3 meses, preferiblemente tras las comidas.

La suplementación con gelatina (5-15 g), vitamina C (50 mg) y colágeno (10 g/día) parece que podría incrementar la producción de colágeno y disminuir el dolor articular.

Recomendación n.º 24

Los suplementos de probióticos pueden resultar beneficiosos para los deportistas fatigados, durante un tratamiento antibiótico o con una deficiencia inmunitaria identificable, pero su eficacia en el rendimiento deportivo de los deportistas cuyo rendimiento es óptimo aún está por establecerse.

Debe extremarse la precaución con su uso en deportistas con antecedentes de problemas del tracto gastrointestinal (enfermedad celíaca, síndrome de intestino irritable…) por el riesgo de aumento de la irritabilidad intestinal.

Recomendación n.º 25

La melatonina tiene efectos antioxidantes, antinflamatorios y reguladores del sueño que afectan de manera positiva al rendimiento deportivo. Está especialmente indicada en la normalización del ritmo de sueño-vigilia favoreciendo un descanso reparador, cuando se realicen entrenamientos o competiciones en horarios nocturnos, o en la aclimatación a zonas con distintos husos horarios.

Se recomienda la toma de melatonina 1 hora antes de dormir y en dosis que pueden variar de 5 a 30 mg, bajo supervisión médica.

Recomendación final

Se recomienda una valoración nutricional completa de cada deportista y la prescripción médica individualizada de los suplementos con posibles efectos ergogénicos, evaluando las múltiples variables que pueden existir en cada momento, como son el tipo de deporte, el estado físico del deportista, el periodo de la temporada y el clima, y teniendo en cuenta las precauciones respecto a la normativa antidopaje.

14. Recomendaciones sobre uso de suplementos nutricionales y de ayudas ergogénicas para prevenir el dopaje

Las altas exigencias a las que se someten los deportistas de toda naturaleza para cumplir con sus objetivos de rendimiento hacen que recurran a diversas estrategias, entre las que se encuentran el consumo se suplementos dietéticos como ayuda ergogénica.

El consumo de este tipo de productos en el deporte profesional se sitúa en el 44-100%[659], y se realiza un amplio uso en otros ámbitos de la práctica deportiva[660-663]. En el deporte aficionado, que está experimentando un enorme crecimiento motivado por la gran profusión de carreras populares, la utilización de estos suplementos se antoja elevadísima. Un estudio realizado en el año 2017 sobre los hábitos de las personas corredoras arroja unos resultados de consumo de suplementos nutricionales muy altos, del 36,8% en los hombres y del 38,0% en las mujeres[664].

Un suplemento nutricional es un producto tomado por vía oral que contiene un "ingrediente nutricional" destinado a complementar la dieta. Los "ingredientes nutricionales" contienen vitaminas, minerales, hierbas u otros productos botánicos, AA y sustancias como enzimas, tejidos orgánicos, glandulares y metabolitos, que pueden ser extractos o concentrados, y que se presentan en tabletas, cápsulas, cápsulas de gel, cápsulas de gelatina, líquidos, polvos o barritas[1]. No se han encontrado evidencias científicas de efectos positivos en la salud o en el rendimiento deportivo de la mayor parte de estos suplementos[9].

Debido al gran consumo de este tipo de productos, hay mucho interés comercial en su promoción y venta, y se recurre a estrategias fraudulentas como puede ser la contaminación con sustancias dopantes sin indicarlo en el etiquetado. De esta forma, el deportista que consume estos productos que contienen sustancias no declaradas se arriesga a tener un hallazgo analítico adverso en un control de dopaje, lo que se denomina "dopaje accidental", que supone una infracción a las nomas antidopaje y que podría dar lugar a una sanción.

Una de las estrategias más importantes de la lucha contra el dopaje es la prevención, y en este contexto es muy importante informar a los deportistas sobre todas las situaciones de riesgo relacionadas con el dopaje para que conozcan la forma de evitar el dopaje accidental. Por ello, en caso de que el deportista decida utilizar cualquier tipo de suplemento, debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La Agencia Mundial Antidopaje aconseja: "*Si no está seguro del contenido de un producto, no lo tome. La ignorancia nunca es excusa… Como será responsable objetivamente por las consecuencias de una prueba positiva provocada por un complemento mal etiquetado, el mejor consejo es que evite tomar el complemento si tiene alguna duda sobre lo que puede contener*"[665]). Es un magnífico consejo para conservar la salud y evitar problemas importantes.
- Solo deberían usarse suplementos que hayan sido prescritos por un médico o recomendados por profesionales sanitarios.
- Si, no obstante, se decide utilizar estos productos sin asesoramiento, hay que prestar especial atención al resto de las recomendaciones.
- La mayoría de los suplementos no han demostrado su utilidad. Hay que asesorarse por un experto en la materia sobre cuáles son verdaderamente útiles.
- Los suplementos no están exentos de riesgos para la salud. Deben seguirse las recomendaciones de un profesional y nunca sobrepasar las dosis recomendadas.
- La combinación de sustancias, algo habitual en muchos deportistas, puede modificar los efectos de cada una de ellas, potenciándolos o atenuándolos, pero en cualquier caso incrementando los riesgos para la salud.
- Todo deportista debe consultar con su entrenador o preparador en caso de que note modificaciones en su rendimiento relacionadas con el consumo de estas sustancias.
- Hay que consultar con el médico en caso de que aparezcan síntomas en relación con el consumo de estas sustancias.
- No comprar nunca suplementos en contextos poco fiables, como Internet, instalaciones deportivas sin autorización de venta y particulares.
- Evitar la compra de suplementos en cuyo envase no se especifiquen los componentes y las dosis, y que no indiquen un domicilio fiscal objetivable.
- Verificar en los diferentes sitios web dedicados a la valoración de la pureza de los suplementos (como Informed-Sport[666] o Informed-Choice[667]) que el producto que se adquiere, con su correspondiente número de lote, está libre de sustancias prohibidas.
- Comprobar que las sustancias que aparecen en la etiqueta del producto no se encuentran incluidas en la lista de sustancias y métodos prohibidos en el deporte (http://blog.aepsad.es/la-lista-de-sustancias-y-metodos-prohibidos/).
- Comprobar que los productos cuentan con alguna certificación que garantice la ausencia de sustancias dopantes en su composición (http://blog.aepsad.es/complementos-alimenticios/).
- Conservar el tique o la factura de compra del producto junto con un envase precintado del mismo lote que el que se va a consumir. Así, si apareciera un hallazgo analítico adverso podría comprobarse la compra legal y que el producto consumido contenía la sustancia o sustancias no indicadas en el etiquetado, siempre y cuando

esté sellado. Estas medidas, en caso de que la toma determine un resultado antidopaje adverso, podrían conllevar una reducción de la sanción.

15. Abreviaturas

AA: Aminoácido.
AAE: Aminoácido esencial.
ADN: Ácido desoxirribonucleico.
AG: Ácidos grasos.
AH: Ácido hialurónico.
AINE: Antiinflamatorios no esteroideos.
AL: Ácido linoleico.
ALA: Ácido alfa-linolénico.
ANC: *Apports Nutritionnels Conseillés*
ATP: Trifosfato de adenosina.
CCAH: Comité Científico en Alimentación Humana.
CES: *Carbohydrate-electrolyte solutions.*
CoA: Coenzima A.
COX-2: Ciclooxigenasa 2.
DHA: Ácido docosahexaenoico.
EPA: Ácido eicosapentaenoico.
EE.UU.: Estados Unidos de Norteamérica.
EFSA: Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria.
FAO: Organización para la Alimentación y la Agricultura.
FDA: *Food and Drug Administration.*
HC: Hidratos de carbono.
HMB: Ácido β-hidroxi-β-metil-butírico.
IDR: Ingesta diaria recomendada.
IGF-1: Factor de crecimiento insulínico tipo 1.
ISSN: Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva.
mTORC1: Receptor del IGF-1.
NDA: Panel de productos dietéticos, nutrición y alergias de la EFSA.
NOAEL: *No observed adverse effect level.*
OMS: Organización Mundial de la Salud.
SCF: *Scientific Committe on Food*.
SDMOAD: *Structure disease modifying osteoarthritis drugs.*
SEMED/FEMEDE: Sociedad Española de Medicina del Deporte.
SNC: Sistema nervioso central.
SYSADOA: *Symptomatic slow acting drugs for osteoarthritis.*
UE: Unión Europea.
UL: *Tolerable upper intake levels.*
VO_2max: Consumo máximo de oxígeno.
VRN: Valor de referencia de nutrientes.
WP: Proteínas del suero de leche.

16. Bibliografía

1. Palacios N, Montalvo Z. Guía de alimentos dietéticos adaptados a un intenso desgaste muscular. Editado con la colaboración de Isostar, Nutrition et Santé Iberia SL; Madrid 2008.
2. Jeukendrup A, Gleeson M. Sport nutrition: an introduction to energy production and performance. Champaigne: Human Kinetics; 2004.
3. Palacios N, Montalvo Z, Heras E. Alimentación, nutrición y ejercicio físico. En: Bellido D, De Luis DA, Díaz de Santos, et al., editores. Manual de nutrición y metabolismo. Madrid: Díaz de Santos; 2006.
4. Brignole M, Alboni P, Benditt DG, Bergfeldt L, Blanc JJ, Bloch Thomsen PE, et al. Grupo de trabajo sobre el sincope de la Sociedad Europea de Cardiología. Guías de práctica clínica sobre el manejo (diagnóstico y tratamiento) del síncope. Actualización 2004. Versión resumida disponible en: http://www.revespcardiol.org/, day 20/09/2019.
5. Maughan RJ, Burke LM, Dvorak J, Larson-Meyer DE, Peeling P, Phillips SM, et al. IOC consensus statement: dietary supplements and the high-performance athlete. Br J Sports Med. 2018;52:439-55.
6. Juhn M. Popular sports supplements and ergogenic aids. Sports Med. 2003;33:921-39.
7. Garthe I, Maughan RJ. Athletes and supplements: prevalence and perspectives. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28:126-38.
8. Martínez-Sanz JM, Sospedra I, Ortiz CM, Baladia E, Gil-Izquierdo A, Ortiz-Moncada R. Intended or unintended doping? A review of the presence of doping substances in dietary supplements used in sports. Nutrient. 2017;9:E1093.
9. Palacios N, Manonelles P, Blasco R, Gaztañaga T, Villegas JA. Ayudas ergogénicas nutricionales para las personas que realizan ejercicio físico. Arch Med Deporte. 2012;29(Supl 1):6-80.
10. Rodiño Grosso C. Complementos alimenticios y alimentos dietéticos desde una perspectiva legal: conceptos y definiciones. En: Suplementación Nutricional. AFEPADI, Asociación de Empresas de Dietéticos y Complementos Alimenticios; 2011. p. 67-81.
11. Directiva 89/398/CEE del Consejo de 3 de mayo relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros sobre los productos alimenticios destinados a una alimentación especial. DOCE L 186, 30/6/1989. p. 27-32.
12. Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportmen. Adopted by SCF on 22.6.2000, corrected by SCF on 28.2.2001. SCF/CS/NUT/SPORT/5 Final (corrected).
13. Reglamento (CE) 1924/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo de 20 de diciembre de 2006 relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos. DOCE L 404, 30/12/2016. p. 9-25.
14. Reglamento (CE) 432/2012 del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de mayo de 2012 por el que se establece una lista de declaraciones autorizadas de propiedades saludables de los alimentos distintas de las relativas a la reducción del riesgo de enfermedad y al desarrollo y la salud de los niños. DOCE L 136, 25/5/2012. p. 1-40.
15. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to creatine and increase in physical performance during short-term, high intensity, repeated exercise bouts (ID 739, 1520, 1521, 1522, 1523, 1525, 1526, 1531, 1532, 1533, 1534, 1922, 1923, 1924), increase in endurance capacity (ID 1527, 1535), and increase in endurance performance (ID 1521, 1963) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2011;9:2303.
16. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Creatine in combination withr esistance training and improvement in muscle strength: evaluation of a health claim pursuant to Article 13(5) of Regulation (EC)No 1924/2006. EFSA Journal. 2016;14:4400.
17. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to carbohydrate-electrolyte solutions and reduction in rated perceived exertion/effort during exercise (ID 460, 466, 467, 468), enhancement of water absorption during exercise (ID 314, 315, 316, 317, 319, 322, 325, 332, 408, 465, 473, 1168, 1574, 1593, 1618, 4302, 4309), and maintenance of endurance performance (ID 466, 469) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2011;9:2211.
18. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to vitamin C and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 129, 138, 143, 148), antioxidant function of lutein (ID 146), maintenance of vision (ID 141, 142), collagen formation (ID 130, 131, 136, 137, 149), function of the nervous system (ID 133), function of the immune system (ID 134), function of the immune system during and after extreme physical exercise (ID 144), non-haem iron absorption (ID 132, 147), energy-yielding metabolism (ID 135), and relief in case of irritation in the upper respiratory tract (ID 1714, 1715) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal 2009;7(9):1226.

19. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to glycaemic carbohydrates and recovery of normal muscle function (contraction) after strenuous exercise pursuant to Article 13(5) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2013;11:3409.
20. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to caffeine and increase in physical performance during short-term high-intensity exercise (ID 737, 1486, 1489), increase in endurance performance (ID 737, 1486), increase in endurance capacity (ID 1488) and reduction in the rated perceived exertion/effort during exercise (ID 1488, 1490) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2011;9:2053.
21. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the safety of caffeine. EFSA Journal. 2015;13:4102.
22. Turck D, Bresson JL, Burlingame B, Dean T, Fairweather-Tait S, Heinonen M, et al. Carbohydrate solutions and contribute to the improvement of physical performance during a high-intensity and long-lasting physical exercise: evaluation of a health claim pursuant to Article 13(5) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2018;16:5191.
23. Informe de la Comisión al Parlamento Europeo y al Consejo sobre alimentos destinados a los deportistas. Bruselas, 15.6.2016 COM (2016) 402 final. (Consultado el 12/2/2019.) Disponible en: https://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/ES/1-2016-402-ES-F1-1.PDF
24. Estudio sobre la prevención del dopaje, Comisión Europea. 12 de diciembre de 2014. (Consultado 11/01/2019.) Disponible en: http://bookshop.europa.eu/en/study-on-doping-prevention-pbNC0514065
25. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JF, Endert E, et al. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. Am J Physiol. 1993;265:E380-91.
26. Jeukendrup A. Carbohydrate intake during exercise and performance. Nutrition. 2004;20:669-77.
27. Jentjens RL, Cale C, Gutch C, Jeukendrup AE. Effects of preexercise ingestion of differing amounts of carbohydrate on subsequent metabolism and cycling performance. Eur J Appl Physiol. 2003;88:444-52.
28. American Dietetic Association; Dietitians of Canada; American College of Sports Medicine, Rodriguez NR, Di Marco NM, Langley S. American College of Sports. Medicine position stand. Nutrition and athletic performance. Med Sci Sports Exerc. 2009;41:709-31.
29. Hawley JA, Schabort EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. Sports Med. 1997;24:73-81.
30. Jeukendrup AE, Killer SC. The myths surrounding pre-exercise carbohydrate feeding. Ann Nutr Metab. 2010;57(Suppl 2):18-25.
31. Coyle EF, Jeukendrup AE, Oseto MC, Hodgkinson BJ, Zderic TW. Low-fat diet alters intramuscular substrates and reduces lipolysis and fat oxidation during exercise. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2001;280:E391-8.
32. Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen. European Commission. (Consultado 6/10/2018.) Disponible en: http://ec.europa.eu/food/fs/sc/scf/out64_en.pdf
33. Schabort EJ, Bosch AN, Weltan SM, Noakes TD. The effect of a preexercise meal on time to fatigue during prolonged cycling exercise. Med Sci Sports Exerc. 1999;31:464-71.
34. Cramp T, Broad E, Martin D, Meyer BJ. Effects of preexercise carbohydrate ingestion on mountainbike performance. Med Sci Sports Exerc. 2004;36:1602-9.
35. Skein M, Duffield R, Kelly BT, Marino FE. The effects of carbohydrate intake and muscle glycogen content on self-paced intermittent-sprint exercise despite no knowledge of carbohydrate manipulation. Eur J Appl Physiol. 2012;112:2859-70.
36. Chryssanthopoulos C, Williams C, Nowitz A, Kotsiopoulou C, Vleck V. The effect of a high carbohydrate meal on endurance running capacity. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2002;12:157-71.
37. Wee SL, Williams C, Gray S, Horabin J. Influence of high and low glycemic index meals on endurance running capacity. Med Sci Sports Exerc. 1999;31:393-9.
38. Okano G, Sato Y, Takumi Y, Sugawara M. Effect of 4 h preexercise high carbohydrate and high fat meal ingestion on endurance performance and metabolism. Int J Sports Med. 1996;17:530-4.
39. Foster C, Costill DL, Fink WJ. Effects of preexercise feedings on endurance performance. Med Sci Sports. 1979;11:1-5.
40. Koivisto VA, Karonen SL, Nikkilä EA. Carbohydrate ingestion before exercise: comparison of glucose, fructose, and sweet placebo. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol. 1981;51:783-7.
41. Coggan AR, Coyle EF. Carbohydrate ingestion during prolonged exercise: effects on metabolism and performance. Exerc Sport Sci Rev. 1991;19:1-40.
42. Currell K, Jeukendrup AE. Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. Med Sci Sports Exerc. 2008;40:275-81.
43. Smith JW, Zachwieja JJ, Péronnet F, Passe DH, Massicotte D, Lavoie C, et al. Fuel selection and cycling endurance performance with ingestion of [13C] glucose: evidence for a carbohydrate dose response. J Appl Physiol. 2010;108:1520-9.
44. Jeukendrup AE, Moseley L. Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. Scand J Med Sci Sports. 2010;20:112-21.
45. Jentjens RL, Moseley L, Waring RH, Harding LK, Jeukendrup AE. Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. J Appl Physiol (1985). 2004;96:1277-84.
46. Pfeiffer B, Stellingwerff T, Zaltas E, Jeukendrup AE. CHO oxidation from a CHO gel compared with a drink during exercise. Med Sci Sports Exerc. 2010;42:2038-45.
47. Pfeiffer B, Stellingwerff T, Zaltas E, Jeukendrup AE. Oxidation of solid versus liquid CHO sources during exercise. Med Sci Sports Exerc. 2010;42:2030-7.
48. Stellingwerff T, Jeukendrup AE. Commentaries on wiewpoint: the two-hour marathon: who and when? J Appl Physiol. 2011;110:278-93.
49. Jeukendrup AE, Chambers ES. Oral carbohydrate sensing and exercise performance. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2010;13:447-51.
50. Gant N, Stinear CM, Byblow WD. Carbohydrate in the mouth immediately facilitates motor output. Brain Res. 2010;1350:151-8.
51. Burke LM, Claassen A, Hawley JA, Noakes TD. Carbohidrate intake during prolonged cycling minimizes effect of glycemic index of preexercise meal. J Appl Physiol. 1998;85:2220-6.
52. Wagenmakers AJ, Brouns F, Saris WH, Halliday D. Oxidation rates of oraly ingested carbohydrates during prolonged exercise in men. J Appl Physiol. 1993;75:2774-80.
53. Rico-Sanz J, Frontera WR, Rivera MA, Rivera-Brown A, Mole PA, Meredith CN. Effects of hyperhydration on total body water, temperature regulation and performance of elite young soccer players in a warm climate. Int J Sports Med. 1996;17:85-91.
54. American College of Sports Medicine. Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. Med Sci Sports Exerc. 2000;32:2130-45.
55. Coyle EF, Jeukendrup AE, Wagenmarkers AJ, Saris WH. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. Am J Physiol. 1997;273:E238-75.
56. Villa Vicente JG, González Gallego J. Papel de la suplementación energética en el rendimiento deportivo. En: Culebras J, García de Lorenzo A, González Gallego J, editores. Nutrición por vía enteral. Madrid: Aula Médica; 1994.
57. Ivy JL. Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. Int J Sports Med. 1998;19(Suppl 2):S142-5.
58. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, Coyle EF. Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. J Appl Physiol. 1988;64:1480-5.
59. Stephens FB, Roig M, Armstrong G, Greenhaff PL. Post-exercise ingestion of a unique, high molecular weight glucosa polymer solution improves performance during a subsequent bout of cycling exercise. J Sports Sci. 2008;26:149-54.
60. Vandenbogaerde TJ, Hopkins WG. Effects of acute carbohydrate supplementation on endurance performance: a meta-analysis. Sports Med. 2011;41:773-92.
61. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of a health claim related to glycaemic carbohydrates and recovery of normal muscle function (contraction) after strenuous exercise pursuant to Article 13(5) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2013;11:3409.
62. Burke LM, Collier GR, Hargreaves M. Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feedings. J Appl Physiol. 1993;75:1019-23.
63. Phillips SM, Turner AP, Sanderson MF, Sproule J. Carbohydrate gel ingestion significantly improves the intermittent endurance capacity, but not sprint performance, of adolescent team games players during a simulated team games protocol. Eur J Appl Physiol. 2012;112:1133-41.
64. Patterson SD, Gray SC. Carbohydrate-gel supplementation and endurance performance during intermittent high-intensity shuttle running. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2007;17:445-55.
65. American College of Sports Medicine. Exercise and fluid replacement. Med Sci Sports Exerc. 2007;39:377-90.
66. Manonelles P. Utilidad en el deporte de las bebidas de reposición con carbohidratos. Arch Med Deporte. 2012;147:542-53.
67. Report of the Scientific Committee on Food on composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen. SCF/CS/NUT/SPORT/5 Final (corrected) 28 February 2001. (Consultado el 11/1/2019.) Disponible en: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com_scf_out64_en.pdf

68. Palacios N, Bonafonte L, Manonelles P, Manuz B, Villegas JA. Grupo de trabajo sobre nutrición en el deporte de la Federación Española de Medicina del Deporte. Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. Arch Med Deporte. 2008;126:245-58.
69. European Food Safety Authority Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for water. EFSA Journal. 2010;8:1459.
70. Roy BD, Tarnopolsky MA, MacDougall JD, Fowles J, Yarasheski KE. Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. J Appl Physiol. 1997;82:1882-8.
71. Shirreffs SM. The optimal sports drink. Sportmedizin und Sport Traumatologie. 2003;51:25-9.
72. Gregor RJ, Conconi F, editores. Front matter in handbook of sport medicine and science: road cycling. Oxford: Blackwell Science; 2000. p. 62.
73. Coso JD, Estevez E, Baquero RA, Mora-Rodriguez R. Anaerobic performance when rehydrating with water or commercially available sports drinks during prolonged exercise in the heat. Appl Physiol Nutr Metab. 2008;33:290-8.
74. Circulare 4 novembre 2009. Ministero del Lavoro, della Salute e delle Politiche Sociali. Gazzete Officiale N. 277 del 27 Novembre 2009. (Consultado el 11/1/2019.) Disponible en: https://dpe.confartigianato.it/system/files/private/circolare5Nov09.pdf
75. García Gabarra A. Legislación de los alimentos para deportistas: una asignatura pendiente. Estudios de Derecho Alimentario en homenaje al Dr. Carlos Barros Santos. Cizur Menor (Navarra): Arzanzadi; 2017. p. 167-80.
76. Moore DR, Camera DM, Areta JL, Hawley JA. Beyond muscle hypertrophy: why dietary protein is important for endurance athletes. Appl Physiol Nutr Metab. 2014;39:987-97.
77. Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, Cribb PJ, Wells SD, Skwiat TM, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: Protein and exercise. J Int Soc Sports Nutr. 2017;20;14-20.
78. Bumrungpert A, Pavadhgul P, Nunthanawanich P, Sirikanchanarod A, Adulbhan A. Whey protein supplementation improves nutritional status, glutathione levels, and immune function in cancer patients: a randomized, double-blind controlled trial. J Med Food. 2018;21:612-6.
79. Kerksick CM, Wilborn CD, Roberts MD, Smith-Ryan A, Kleiner SM, Jäger R, et al. ISSN exercise & sports nutrition review update: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr. 2018;15:38.
80. Rittig N, Bach E, Thomsen HH, Moller AB, Hansen J, Johannsen M, et al. Anabolic effects of leucine-rich whey protein, carbohydrate, and soy protein with and without β-hydroxy-β-methylbutyrate (HMB) during fasting-induced catabolism: a human randomized crossover trial. Clin Nutr. 2017;36:697-705.
81. Kerksick CM, Arent S, Schoenfeld BJ, Stout JR, Campbell B, Wilborn CD, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient timing. J Int Soc Sports Nutr. 2017;14:33.
82. Antonio J, Ellerbroek A, Peacock C, Silver T. Casein protein supplementation in trained men and women: morning versus evening. Int J Exerc Sci. 2017;10:479-86.
83. Huang WC, Chang YC, Chen YM, Hsu YJ, Huang CC, Kan NW, et al. Whey protein improves marathon-induced injury and exercise performance in elite track runners. Int J Med Sci. 2017;14:648-54.
84. Babault N, Deley G, Le Ruyet P, Morgan F, Allaert FA. Effects of soluble milk protein or casein supplementation on muscle fatigue following resistance training program: a randomized, double-blind, and placebo-controlled study. J Int Soc Sports Nutr. 2014;11:36.
85. Davies RW, Carson BP, Jakeman PM. The effect of whey protein supplementation on the temporal recovery of muscle function following resistance training: a systematic review and meta-analysis. Nutrients. 2018;10:E221.
86. Morton RW, Murphy KT, McKellar SR, Schoenfeld BJ, Henselmans M, Helms E, et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of the effect of protein supplementation on resistance training-induced gains in muscle mass and strength in healthy adults. Br J Sports Med. 2018;52:376-84.
87. Hamarsland H, Nordengen AL, Nyvik Aas S, Holte K, Garthe I, Paulsen G, et al. Native whey protein with high levels of leucine results in similar post-exercise muscular anabolic responses as regular whey protein: a randomized controlled trial. J Int Soc Sports Nutr. 2017;14:43.
88. Kim J, Lee C, Lee J. Effect of timing of whey protein supplement on muscle damage markers after eccentric exercise. J Exerc Rehabil. 2017;13:436-40.
89. West DWD, Abou Sawan S, Mazzulla M, Williamson E, Moore DR. Whey protein supplementation enhances whole body protein metabolism and performance recovery after resistance exercise: a double-blind crossover study. Nutrients. 2017;9. pii: E735.
90. Tipton KD, Elliott TA, Cree MG, Wolf SE, Sanford AP, Wolfe RR. Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise. Med Sci Sports Exerc. 2004;36:2073-81.
91. Burke DG, Chilibeck PD, Davidson KS, Candow DG, Farthing J, Smith-Palmer T. The effect of whey protein supplementation with and without creatine monohydrate combined with resistance training on lean tissue mass and muscle strength. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2001;11:349-64.
92. Lands LC, Grey VL, Smountas AA. Effect of supplementation with a cysteine donor on muscular performance. J Appl Physiol. 1999;87:1381-5.
93. Brown EC, Di Silvestro RA, Babaknia A, Devor ST. Soy versus whey protein bars: effects on exercise training impact on lean body mass and antioxidant status. Nutr J. 2004;3:22.
94. Morifuji M, Sakai K, Sanbongi C, Sugiura K. Dietary whey protein increases liver and skeletal muscle glycogen levels in exercise-trainedrats. Br J Nutr. 2005;93:439-45.
95. Borsheim E, Aarsland A, Wolfe RR. Effect of an aminoacid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2004;14:255-71.
96. Yuan J, Jiang B, Li K, Shen W, Tang JL. Beneficial effects of protein hydrolysates in exercise and sports nutrition. J Biol Regul Homeost Agents. 2017;31:183-8.
97. Cooke MB, Rybalka E, Stathis CG, Cribb PJ, Hayes A. Whey protein isolate attenuates strength decline after eccentrically-induced muscle damage in healthy individuals. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7:30.
98. European Food Safety Authority (EFSA) Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for protein. EFSA Journal. 2012;10:2557.
99. Bandegan A, Courtney-Martin G, Rafii M, Pencharz PB, Lemon PW. Indicator aminoacid-derived estimate of dietary protein requirement for male bodybuilders on a non training day is several-fold greater than the current recommended dietary allowance. J Nutr. 2017;147:850-7.
100. Witard OC, Wardle SL, Macnaughton LS, Hodgson AB, Tipton KD. Protein considerations for optimising skeletal muscle mass in healthy young and older adults. Nutrients. 2016;8:181.
101. Schoenfeld BJ, Aragon AA. How much protein can the body use in a single meal for muscle-building? Implications for daily protein distribution. J Int Soc Sports Nutr. 2018;15:10.
102. Gorissen SH, Remond D, Van Loon LJ. The muscle protein synthetic response to food ingestion. Meat Sci. 2015;109:96-100.
103. Pencharz PB, Elango R, Ball RO. Determination of the tolerable upper intake level of leucine in adultmen. J Nutr. 2012; 142:2220S-4S.
104. Burke LM, Winter JA, Cameron-Smith D, Enslen M, Farnfield M, Decombaz J. Effect of intake of different dietary protein sources on plasma amino acid profiles at rest and after exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2012;22:452-62.
105. Miller PE, Alexander DD, Perez V. Effects of whey protein and resistance exercise on body composition: a meta-analysis of randomized controlled trials. J Am Coll Nutr. 2014;33:163-75.
106. Schoenfeld BJ, Aragon A, Wilborn C, Urbina SL, Hayward SE, Krieger J. Pre- versus post-exercise protein intake has similar effects on muscular adaptations. PeerJ. 2017;5:e2825.
107. Ormsbee MJ, Gorman KA, Miller EA, Baur DA, Eckel LA, Contreras RJ, et al. Nighttime feeding likely alters morning metabolism but not exercise performance in female athletes. Appl Physiol Nutr Metab. 2016;41:719-27.
108. Bilsborough S, Mann N. A review of issue of dietary protein intake in humans. Int J Sports Nutr Exc Metab. 2006;16:29-52.
109. Wolfe RR, Cifelli AM, Kostas G, Kim IY. Optimizing protein intake in adults: interpretation and application of the recommended dietary allowance compared with the acceptable macronutrient distribution range. Adv Nutr. 2017;8:266-75.
110. Antonio J, Ellerbroek A, Silver T, Orris S, Scheiner M, Gonzalez A, et al. A high protein diet (3.4 g/kg/d) combined with a heavy resistance training program improves body composition in healthy trained men and women — a follow-up investigation. J Int Soc Sports Nutr. 2015;12:39.
111. Antonio J, Ellerbroek A, Silver T, Vargas L, Tamayo A, Buehn R, et al. A high protein diet has no harmful effects: a one-year crossover study in resistance-trained males. J Nutr Metab. 2016;2016:9104792.
112. World Health Organization, Technical Report Series 935. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNI expert consultation. 2011. (Consultado el 10/2/2019.) Disponible en: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/43411/WHO_TRS_935_eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y
113. Bellizzi V, Calella P, Carrero JJ, Fouque D. Very low-protein diet to postpone renal failure: pathophysiology and clinical applications in chronic kidney disease. Chronic Dis Transl Med. 2018;4:45-50.
114. Cermak NM, Res PT, De Groot LC, Saris WH, Van Loon LJ. Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. Am J Clin Nutr. 2012;96:1454-64.

115. Volek JS, Volk BM, Gómez AL, Kunces LJ, Kupchak BR, Freidenreich DJ, et al. Whey protein supplementation during resistance training augments lean body mass. J Am Coll Nutr. 2013;32:122-35.

116. MacKenzie MG, Hamilton DL, Murray JT, Taylor PM, Baar K. mVps34 is activated following high-resistance contractions. J Physiol. 2009;587:253-60.

117. Reidy PT, Rasmussen BB. Role of ingested amino acids and protein in the promotion of resistance exercise-induced muscle protein anabolism. J Nutr. 2016;146:155-83.

118. Naclerio F, Larumbe-Zabala E. Effects of whey protein alone or as part of a multiingredient formulation on strength, fat-free mass, or lean body mass in resistance-trained individuals: a meta-analysis. Sports Med. 2016;46:125-37.

119. Thomas DK, Quinn MA, Saunders DH, Greig CA. Protein supplementation does notsignificantly augment the effects of resistance exercise training in older adults: a systematic review. J Am Med Dir Assoc. 2016;17:959.e1-e9.

120. Hoffman JR, Ratamess NA, Kang J, Falvo MJ, Faigenbaum AD. Effects of protein supplementation on muscular performance and resting hormonal changes in college football players. J Sports Sci Med. 2007;6:85-92.

121. Arciero PJ, Ives SJ, Norton C, Escudero D, Minicucci O, O'Brien G, et al. Protein-pacing and multi-component exercise training improves physical performance outcomes in exercise-trained women: the PRISE 3 study. Nutrients 2016;8. pii: E332.

122. Mclellan TM, Pasiakos SM, Lieberman HR. Effects of protein in combination with carbohydrate supplements on acute or repeat endurance exercise performance: a systematic review. Sports Med. 2014;44:535-50.

123. Saunders MJ, Luden ND, DeWitt CR, Gross MC, Rios AD. Protein supplementation during or following a marathon run influences post-exercise recovery. Nutrients. 2018;10:E333

124. Rankin P, Lawlor MJ, Hills FA, Bell PG, Stevenson EJ, Cockburn E. The effect of milk on recovery from repeat-sprint cycling in female team-sport athletes. Appl Physiol Nutr Metab. 2018;43:113-22.

125. Rustad PL, Sailer M, Cumming KT, Jeppesen PB, Kolnes KJ, Sollie O, et al. Intake of protein plus carbohydrate during the first two hours after exhaustive cycling improves performance the following day. PLoS One. 2016;11:E0153229.

126. Hoffman JR, Ratamess NA, Tranchina CP, Rashti SL, Kang J, Faigenbaum AD. Effect of protein-supplement timing on strength, power, and body-composition changes in resistance-trained men. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2009;19:172-85.

127. D'Lugos AC, Luden ND, Faller JM, Akers JD, Mckenzie AI, Saunders MJ. Supplemental protein during heavy cycling training and recovery impacts skeletal muscle and heart rate responses but not performance. Nutrients. 2016;8. pii E550.

128. Valentine RJ, Saunders MJ, Todd MK, St Laurent TG. Influence of carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and indices of muscle disruption. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2008;18:363-78.

129. Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C, Moreiras O, Carbajal A, et al. Ingestas recomendadas de energía y nutrientes para la población española (revisadas y ampliadas 2011). Tablas de composición de alimentos. 15.ª ed. Madrid: Pirámide; 2011. p. 214-5.

130. Subcommittee on the Tenth Edition of the RDAs Food and Nutrition Board Commission on Life Sciences National Research Council. Recommended dietary allowances — Raciones dietéticas recomendadas. 1.ª ed. española de la 10.ª ed. original. Barcelona: Consulta; 1991.

131. Food and Nutrition Board, Institute of Medicine, National Academies Washington DC: National Academy Press. Dietary reference intakes for calcium, phosphorous, magnesium, vitamin D, and fluoride (1997); Dietary reference intakes for thiamin, riboflavin, niacin, vitamin B6, folate, vitamin B12, pantothenic acid, biotin, and choline (1998); Dietary reference intakes for vitamin C, vitamin E, selenium, and carotenoids (2000); Dietary reference intakes for vitamin A, vitamin K, arsenic, boron, chromium, copper, iodine, iron, manganese, molybdenum, nickel, silicon, vanadium, and zinc (2001); Dietary reference intakes for water, potassium, sodium, chloride, and sulfate (2005); Dietary reference intakes for calcium and vitamin D (2011). (Consultado el 5/6/2019.) Disponible en: http://www.nap.edu

132. Potier de Courcy G, Frelut ML, Fricker J, Martin A, Dupin H. Besoins nutritionnels et apports conseillés pour la satisfaction de ces besoins. EMC. Endocrinologie et Nutrition. 2003;10-308-A-10.

133. Comité Científico de Alimentación Humana (CCAH) 2000-2003: "Upper safe levels" (UL) para selenio, molibdeno, vitamina B6, folato, magnesio, yodo, vitaminas A y D, niacina, calcio, cinc, cobre y vitamina D. Panel Productos Dietéticos, Nutrición y Alergias (NDA) de la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) 2004-2005: boro y fluoruro.

134. Rapport intitulé. Méthode et analyse d'une simulation de l'enrichissement des aliments en vitamines et minéraux. Étude réalisée en collaboration avec J. Maffre (OCA/CREDOC) par un groupe de travail réuni à cet effet et après approbation par la CEDAP, transmise par la DGCCRF à la DGXXIV, à Bruxelles, 2000. Disponible CHAPITRE 7. Aliments, nutriments et régimes alimentaires. Versión electrónica http://www.fao.org/3/w0078f/w0078f0e.htm.

135. Guilland JC, Margaritis I, Melin B, Pérès G, Richalet JP, Sabatier PP. Sportifs et sujets à activité physique intense. En: Apports nutritionnels conseillés. Paris: Tec et Doc. Lavoisier; 2001. p. 337-94.

136. Ibáñez Santos J, Gómez Vides C. Guía de alimentación y deporte. Jano. 2004;67:36-43.

137. Córdova A, Drobnic F, González de Suso JM, Álvarez de Mon M. Disminución del rendimiento deportivo, estrés, daño muscular y síndromes asociados a la fatiga inducidos por el deporte. Medicine. 2002;8:4569-76.

138. Burke L, Maughan R, Shirreffs S. The Consensus Conference on Nutrition for Athletics IAAF. J Sports Sci. 2007;25(Suppl 1):1.

139. Barbany JR. Alimentación para el deporte y la salud. Barcelona: Martínez Roca; 2002.

140. Erquicia M, Carballo E, Gaztañaga T, Larrañaga P. Actividad física, hábitos y actitudes de los adolescentes en San Sebastián: estudio piloto. En: Humanismo y nuevas tecnologías en la educación física y el deporte. AIESEP. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia; 1990. p. 599-605.

141. Gaztañaga T. Consumo en nutrientes y hábitos de alimentación en jóvenes deportistas vascos. En: Avances en nutrición deportiva. Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia-CSD; 1991. p. 337-46.

142. Álvarez Medina J, Manonelles P, Guillén R, Lapetra S, Giménez Salillas L, Julián C, et al. Diagnóstico nutricional y evolutivo en una poblacional escolar deportista. Arch Med Deporte. 2010;136:95-106.

143. Freitas da Silva Morales KM, Freitas da Silva FR, Dias Ferrão ML, Seroa da Mota CB, Dantas EHM. Análisis de la ingesta energética y nutricional de jugadores de diferentes posiciones en un equipo de futbol. Arch Med Deporte. 2011;141:29-36.

144. Zatico AG, Blández Ángel J, Fernández García E. Sobrepeso, obesidad y adecuación a la dieta mediterránea en adolescentes de la Comunidad de Madrid. Arch Med Deporte. 2010;138:271-80.

145. Farreras/Rozman. Medicina interna. 14.ª ed. Madrid: Harcourt; 2000.

146. Diario Oficial de la Comunidad Europea (DARE). Reglamento CE n.º 178/2002. p. L31/1 y ss.

147. Diario Oficial de la Comunidad Europea (DARE). Directiva 2002/46 del Parlamento Europeo y del Consejo relativo a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de complementos alimenticios. 10 de junio de 2010. p. L183/51 y ss.

148. Directiva 2009/39/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 6 de mayo de 2009, relativa a los productos alimenticios destinados a una alimentación especial. p. L124/21.

149. European Commission. Health and consumer protection. Report of the Scientific Committee on food composition and specification of food intended to meet the expenditure of intense muscular effort, especially for sportsmen. (Adopted by the SCF on 22/6/2000, corrected by the SCF on 28/2/2001.)

150. Alonso Fonseca J. Ayudas ergogénicas. Sustancias que pueden mejorar el rendimiento deportivo. Sevilla: Junta de Andalucía; 2006.

151. Kreider RB. Dietary supplements and the promotion of muscle growth with resistance exercise. Sports Med. 1999;27:97-110.

152. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to sodium and maintenance of normal muscle function (ID 359) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2011;9:2260.

153. Desbrow B, Anderson S, Barrett J, Rao E, Hargreaves M. Carbohydrate-electrolyte feedings and 1 h time trial cycling performance. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2004;14:541-9.

154. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to magnesium and "hormonal health" (ID 243), reduction of tiredness and fatigue (ID 244), contribution to normal psychological functions (ID 245, 246), maintenance of normal blood glucose concentrations (ID 342), maintenance of normal blood pressure (ID 344, 366, 379), protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 351), maintenance of the normal function of the immune system (ID 352), maintenance of normal blood pressure during pregnancy (ID 367), resistance to mental stress (ID 375, 381), reduction of gastric acid levels (ID 376), maintenance of normal fat metabolism (ID 378) and maintenance of normal muscle contraction (ID 380, ID 3083) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1807.

155. Scientific Committee on Food (SCF). Opinion of the SCF on the revision of reference values for nutrition labelling. 2003. Disponible en: https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/safety/docs/sci-com_scf_out171_en.pdf

156. Devlin JT, Williams C. Food, nutrition and sport performance: a final consensus statement. J Sports Sci. 1991;9:1-152.

157. Speich M, Pineau A, Ballereau F. Minerals trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. Clin Chim Acta. 2001;312:1-11.

158. Tukhtarov BE. Comparative assessment of the biological value of average daily diets in professional athletes of Uzbekistan. Gig Sanit. 2010;2:65-7.

159. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to calcium and maintenance of bones and teeth (ID 224, 230, 231, 354, 3099), muscle unction and neurotransmission (ID 226, 227, 230, 235), blood coagulation (ID 230, 236), energy-yielding metabolism (ID 234), function of digestive enzymes (ID 355), and maintenance of normal blood pressure (ID 225, 385, 1419) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1210.
160. Villegas García JA, Zamora Navarro S. Valoración nutricional. En: Valoración nutricional. Valoración del estado nutritivo. Valoración del deportista. Aspectos biomédicos y funcionales. Monografía FEMEDE 6. Pamplona: FEMEDE; 1999. p. 196-204.
161. Moreiras O, Carbajal A, Cabrera L, Cuadrado C. Ingestas recomendadas de energía y nutrientes para la población española (revisadas y ampliadas 2015). Tablas de composición de alimentos. 18.ª ed. Madrid: Pirámide; 2016.
162. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to phosphorus and function of cell membranes (ID 328), energy-yielding metabolism (ID 329, 373) and maintenance of bone and teeth (ID 324, 327) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1219.
163. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to iron and formation of red blood cells and haemoglobin (ID 374, 2889), oxygen transport (ID 255), contribution to normal energy-yielding metabolism (ID 255), reduction of tiredness and fatigue (ID 255, 374, 2889), biotransformation of xenobiotic substances (ID 258), and "activity of heart, liver and muscles" (ID 397) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1740.
164. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to iron and formation of red blood cells and haemoglobin (ID 249, ID 1589), oxygen transport (ID 250, ID 254, ID 256), energy-yielding metabolism (ID 251, ID 1589), function of the immune system (ID 252, ID 259), cognitive function (ID 253) and cell division (ID 368) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1215.
165. Jamurtas AZ, Tofas T, Fatouros I, Nikolaidis MG, Paschalis V, Yfanti C, et al. The effects of low and high glycemic index foods on exercise performance and beta-endorphin responses. J Int Soc Sports Nutr. 2011;8:15.
166. Nuviala Mateo RJ, Lapieza Laínez MG. El laboratorio de bioquímica en el control de deportistas. Valores de referencia. En: Valoración del deportista. Aspectos biomédicos y funcionales. Monografías FEMEDE 6. Pamplona: FEMEDE; 1999. p. 119-35.
167. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to zinc and function of the immune system (ID 291, 1757), DNA synthesis and cell division (ID 292, 1759), protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 294, 1758), maintenance of bone (ID 295, 1756), cognitive function (ID 296), fertility and reproduction (ID 297, 300), reproductive development (ID 298), muscle function (ID 299), metabolism of fatty acids (ID 302), maintenance of joints (ID 305), function of the heart and blood vessels (ID 306), prostate function (ID 307), thyroid function (ID 308), acid-base metabolism (ID 360), vitamin A metabolism (ID 361) and maintenance of vision (ID 361) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1229.
168. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to zinc and maintenance of normal skin (ID 293), DNA synthesis and cell division (ID 293), contribution to normal protein synthesis (ID 293, 4293), maintenance of normal serum testosterone concentrations (ID 301), "normal growth" (ID 303), reduction of tiredness and fatigue (ID 304), contribution to normal carbohydrate metabolism (ID 382), maintenance of normal hair (ID 412), maintenance of normal nails (ID 412) and contribution to normal macronutrient metabolism (ID 2890) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1819.
169. DeMarco HM, Sucher KP, Cisar CJ, Butterfield GE. Preexercise carbohydrate meals: application of glycemic index. Med Sci Sports Exerc. 1999;31:164-70.
170. Sparks MJ, Selig SS, Febbraio MA. Pre-exercise carbohydrate ingestion: effect of the glycemic index on endurance exercise performance. Med Sci Sports Exerc. 1998;30:844-9.
171. Galofré JC, Santos S, Salvador J. Marcadores de función tiroidea (II). Evaluación de la acción tisular. Rev Med Univ Navarra. 2006;50:13-20.
172. Kirwan JP, O'Gorman DJ, Cyr-Campbell D, Campbell WW, Yarasheski KE, Evans WJ. Effects of a moderate glycemic meal on exercise duration and substrate utilization. Med Sci Sports Exerc. 2001;33:1517-23.
173. Martinović J, Dopsaj V, Kotur-Stevuljević J, Dopsaj M, Vujović A, Stefanović A, et al. Oxidative stress biomarker monitoring in elite women volleyball athletes during a 6-week training period. J Strength Cond Res. 2011;25:1360-7.
174. Rousseau AS, Margaritis I, Arnaud J, Faure H, Roussel AM. Physical activity alters antioxidant status in exercising elderly subjects. J Nutr Biochem. 2006;17:463-70.
175. Devirian TA, Volpe SL. The physiological effects of dietary boron. Crit Rev Food Sci Nutr. 2003;43:219-31.
176. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to manganese and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 309), maintenance of bone (ID 310), energy-yielding metabolism (ID 311), and cognitive function (ID 340) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1217.
177. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to manganese and reduction of tiredness and fatigue (ID 312), contribution to normal formation of connective tissue (ID 404) and contribution to normal energy-yielding metabolism (ID 405) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1808.
178. Organización Mundial de la Salud. Guías para la calidad del agua potable. Primer apéndice, ed. 3.ª, Vol. 1. Recomend. 12.79 Manganeso, (2006). Disponible en: http://www.who.int/watersanitationhealth/dwq/gdwq3esfullllowsres.pdf
179. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. J Acad Nutr Diet. 2016;116:501-28.
180. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to chromium and contribution to normal macronutrient metabolism (ID 260, 401, 4665, 4666, 4667), maintenance of normal blood glucosa concentrations (ID 262, 4667), contribution to the maintenance or achievement of a normal body weight (ID 339, 4665, 4666), and reduction of tiredness and fatigue (ID 261) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1732.
181. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to copper and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 263, 1726), function of the immune system (ID 264), maintenance of connective tissues (ID 265, 271, 1722), energyyielding metabolism (ID 266), function of the nervous system (ID 267), maintenance of skin and hair pigmentation (ID 268, 1724), iron transport (ID 269, 270, 1727), cholesterol metabolism (ID 369), and glucose metabolism (ID 369) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1211.
182. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to iodine and thyroid function and production of thyroid hormones (ID 274), energy-yielding metabolism (ID 274), maintenance of vision (ID 356), maintenance of hair (ID 370), maintenance of nails (ID 370), and maintenance of skin (ID 370) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1214.
183. Mao IF, Ko YC, Chen ML. The stability of iodine in human sweat. Jpn J Physiol. 1990;40:693-700.
184. Smyth PP, Duntas LH. Iodine uptake and losscan frequent strenuous exercise induce iodine deficiency? Horm Metab Res. 2005;37:555-8.
185. Scientific Committee on Food Scientific. Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies. European Food Safety Authority. Tolerable upper intake levels for vitamins and minerals. (Consultado el 27/6/2019.) Disponible en: http://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/efsa_rep/blobserver_assets/ndatolerableuil.pdf
186. Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine joint position statement. Nutrition and athletic performance. Med Sci Sports Exerc. 2016;48:543-68.
187. Wilmore JH, Costill DL. Nutrición y ergogenia nutricional. En: Wilmore JH, Costill DL, editores. Fisiología del esfuerzo y del deporte. 5.ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2005. p. 450-81.
188. Wataru A, Naito Y, Yoshikawa T. Exercise and functional foods. Nutr J. 2006;5:15.
189. Ribas J. Ayudas ergogénicas II. Farmacología y nutrición en el deporte. Barcelona: Instituto Micromat; 2009. p. 40-8.
190. Kreider RB, Wilborn CD, Taylor L, Campbell B, Almada AL, Collins R, et al. ISSN exercise & sport nutrition review: research & recommendations. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7:7.
191. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on substantiation of health claims related to thiamine and energy-yielding metabolism (ID 21, 24, 28), cardiac function (ID 20), function of the nervous system (ID 22, 27), maintenance of bone (ID 25), maintenance of teeth (ID 25), maintenance of hair (ID 25), maintenance of nails (ID 25), maintenance of skin (ID 25) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1222.
192. Fogelholm M, Ruokonen I, Laakso JT, Vuorimaa T, Himberg JJ. Lack of association between indices of vitamin B1, B2 and B6 status and exercise-induced blood lactate in young adults. Int J Sport Nutr. 1993;3:165-76.
193. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to riboflavin (vitamin B2) and contribution to normal energy-yielding metabolism (ID 29, 35, 36, 42), contribution to normal metabolism of iron (ID 30, 37), maintenance of normal skin and mucous membranes (ID 31, 33), contribution to normal psychological functions (ID 32), maintenance of normal bone (ID 33), maintenance of normal teeth (ID 33), maintenance of normal hair (ID 33), maintenance of normal nails (ID 33), maintenance of normal vision (ID

39), maintenance of normal red blood cells (ID 40), reduction of tiredness and fatigue (ID 41), protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 207), and maintenance of the normal function of the nervous system (ID 213) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2010;8:1814.

194. Hoffman MD, Valentino TR, Stuempfle KJ, Hassid BV. A placebo-controlled trial of riboflavin for enhancement of ultramarathon recovery. Sports Med Open. 2017;3:14.

195. Woolf K, Manore MM. B-vitamins and exercise: does exercise alter requirements? Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2006;16:453-84.

196. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin B6 and contribution to normal homocysteine metabolism (ID 73, 76, 199), maintenance of normal bone (ID 74), maintenance of normal teeth (ID 74), maintenance of normal hair (ID 74), maintenance of normal skin (ID 74), maintenance of normal nails (ID 74), contribution to normal energy-yielding metabolism (ID 75, 214), contribution to normal psychological functions (ID 77), reduction of tiredness and fatigue (ID 78), and contribution to normal cysteine synthesis (ID 4283) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2010;8:1759.

197. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Dietary reference values for vitamin B6. EFSA Journal. 2016;14:4485.

198. Manore MM. Effect of physical activity on thiamine, riboflavin, and vitamin B-6 requeriments. Am J Clin Nutr. 2000;72:598S-606S.

199. Gleeson M. Nutritional support to maintain proper immune status during intense training. Nestle Nutr Inst Workshop Ser. 2013;75:85-97.

200. Gleeson M. Immunological aspects of sport nutrition. Immunol Cell Biol. 2016;94:117-23.

201. Pyne DB, Verhagen EA, Mountjoy M. Nutrition, illness, and injury in aquatic sports. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2014;24:460-9.

202. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin B12 and red blood cell formation (ID 92, 101), cell division (ID 93), energy-yielding metabolism (ID 99, 190) and function of the immune system (ID 107) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2009;7:1223.

203. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin B12 and contribution to normal neurological and psychological functions (ID 95, 97, 98, 100, 102, 109), contribution to normal homocysteine metabolism (ID 96, 103, 106), maintenance of normal bone (ID 104), maintenance of normal teeth (ID 104), maintenance of normal hair (ID 104), maintenance of normal skin (ID 104), maintenance of normal nails (ID 104), reduction of tiredness and fatigue (ID 108), and cell division (ID 212) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2010;8:1756.

204. FAO/WHO. Human vitamins and mineral requirements. Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation. 2002. Disponible en: http://www.fao.org/3/a-y2809e.pdf.

205. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to folate and contribution to normal psychological functions (ID 81, 85, 86, 88), maintenance of normal vision (ID 83, 87), reduction of tiredness and fatigue (ID 84), cell division (ID 195, 2881) and contribution to normal amino acid synthesis (ID 195, 2881) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2010;8:1760.

206. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to folate and blood formation (ID 79), homocysteine metabolism (ID 80), energy-yielding metabolism (ID 90), function of the immune system (ID 91), function of blood vessels (ID 94, 175, 192), cell division (ID 193), and maternal tissue growth during pregnancy (ID 2882) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1213.

207. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to niacin and reduction of tiredness and fatigue (ID 47), contribution to normal energy-yielding metabolism (ID 51), contribution to normal psychological functions (ID 55), maintenance of normal blood flow (ID 211), and maintenance of normal skin and mucous membranes (ID 4700) pursuant to Article 13 (1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2010;8:1757.

208. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to biotin and energy-yielding metabolism (ID 114, 117), macronutrient metabolism (ID 113, 114, 117), maintenance of skin and mucous membranas (ID 115), maintenance of hair (ID 118, 2876) and function of the nervous system (ID 116) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2009;7:1209.

209. Williams Melvin H. Nutrición para la salud. Barcelona: Paidotribo; 2002. p. 224.

210. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to pantothenic acid and energy-yielding metabolism (ID 56, 59, 60, 64, 171, 172, 208), mental performance (ID 57), maintenance of bone (ID 61), maintenance of teeth (ID 61), maintenance of hair (ID 61), maintenance of skin (ID 61), maintenance of nails (ID 61) and synthesis and metabolism of steroid hormones, vitamin D and some neurotransmitters (ID 181) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2009;7:1218.

211. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to pantothenic acid and mental performance (ID 58), reduction of tiredness and fatigue (ID 63), adrenal function (ID 204) and maintenance of normal skin (ID 2878) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2010;8:1758.

212. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin C and reduction of tiredness and fatigue (ID 139, 2622), contribution to normal psychological functions (ID 140), regeneration of the reduced form of vitamin E (ID 202), contribution to normal energy-yielding metabolism (ID 2334, 3196), maintenance of the normal function of the immune system (ID 4321) and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 3331) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1815.

213. Bonke D, Nickel B. Improvement of fine motoric movement control by elevated dosages of vitamin B1, B6, and B12 in target shooting. Int J Vitam Nutr Res Suppl. 1989;30:198-204.

214. Neubauer O, Yfanti C. Antioxidants in sports nutrition. En: Lamprech M, editor. Athlete's basic nutrition. Boca Ratón: CRC Press/Taylor & Francis; 2015. p. 39-61.

215. Heaton LE, Davis JK, Rawson ES, Nuccio RP, Witard OC, Stein KW, et al. Selected in-season nutritional strategies to enhance recovery for team sport athletes: a practical overview. Sports Med. 2017;47:2201-18.

216. Evans LW, Omaye ST. Use of saliva biomarkers to monitor efficacy of vitamin C in exercise-induced oxidative stress. Antioxidants (Basel). 2017;6(1). pii:E5.

217. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin A and cell differentiation (ID 14), function of the immune system (ID 14), maintenance of skin and mucous membranes (ID 15, 17), maintenance of vision (ID 16), maintenance of bone (ID 13, 17), maintenance of teeth (ID 13, 17), maintenance of hair (ID 17), maintenance of nails (ID 17), metabolism of iron (ID 206), and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 209) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1221.

218. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin E and protection of DNA, proteins and lipids from oxidative damage (ID 160, 162, 1947), maintenance of the normal function of the immune system (ID 161, 163), maintenance of normal bone (ID 164), maintenance of normal teeth (ID 164), maintenance of normal hair (ID 164), maintenance of normal skin (ID 164), maintenance of normal nails (ID 164), maintenance of normal cardiac function (ID 166), maintenance of normal vision by protection of the lens of the eye (ID 167), contribution to normal cognitive function (ID 182, 183), regeneration of the reduced form of vitamin C (ID 203), maintenance of normal blood circulation (ID 216) and maintenance of normal a scalp (ID 2873) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1816.

219. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to niacin and energy-yielding metabolism (ID 43, 49, 54), function of the nervous system (ID 44, 53), maintenance of the skin and mucous membranes (ID 45, 48, 50, 52), maintenance of normal LDL-cholesterol, HDL-cholesterol and triglyceride concentrations (ID 46), maintenance of bone (ID 50), maintenance of teeth (ID 50), maintenance of hair (ID 50, 2875) and maintenance of nails (ID 50, 2875) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/20061. EFSA Journal. 2009;7:1224.

220. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin D and maintenance of bone and teeth (ID 150, 151, 158), absorption and utilisation of calcium and phosphorus and maintenance of normal blood calcium concentrations (ID 152, 157), cell division (ID 153), and thyroid function (ID 156) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1227.

221. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin D and normal function of the immune system and inflammatory response (ID 154, 159), maintenance of normal muscle function (ID 155) and maintenance of normal cardiovascular function (ID 159) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2010;8:1468.

222. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Dietary reference values for vitamin D. EFSA Journal. 2016;14:4547.

223. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the tolerable upper intake level of vitamin D. EFSA Journal. 2012;10:2813.

224. Bouillon R. Vitamin D: from photosynthesis, metabolism and action to clinical applications. En: Jameson JL, De Groot LJ, editores. Endocrinology. 6th ed. Philadelphia: Saunders Elsevier; 2010. p. 1089-110.

225. Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA, Gordon CM, Hanley DA, Heaney RP, et al.; Endocrine Society. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. J Clin Endocrinol Metab. 2011;96:1911-30.
226. Dawson-Hughes B, Mithal A, Bonjour JP, Boonen S, Burckhardt P, Fuleihan GE, et al. IOF position statement: vitamin D recommendations for older adults. Osteoporos Int. 2010;21:1151-4.
227. Palacios N. Niveles plasmáticos de vitamina D en deportistas de élite españoles. Madrid: Agencia Española de Protección de la Salud en el Deporte (AEPSAD). Consejo Superior de Deportes (CSD) (en prensa).
228. Saura E, Fernández J, Holmes C, Díaz E, Palacios N. Valores de vitamina D en deportistas de alto rendimiento de diferentes disciplinas deportivas. Endocrinol Diabetes Nutr. 2017;64 (Espec Cong 2):415.
229. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to vitamin K and maintenance of bone (ID 123, 127, 128, and 2879), blood coagulation (ID 124 and 126), and function of the heart and blood vessels (ID 124, 125 and 2880) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2009;7:1228.
230. Murray R, Bartoli WP, Eddy DE, Horn MK. Physiological and performance responses to nicotinic-acid ingestion during exercise. Med Sci Sports Exerc. 1995;27:1057-62.
231. Leibel RL, Bahary N, Friedman JM. Genetic variation and nutrition in obesity: approaches to the molecular genetics of obesity. World Rev Nutr Diet. 1990;63:90-101.
232. Yeo WK, Carey AL, Burke L, Spriet LL, Hawley JA. Fat adaptation in well-trained athletes: effects on cell metabolism. Appl Physiol Nutr Metab. 2011;36:12-22.
233. Vannice G, Rasmussen H. Position of the Academy of Nutrition and Dietetics: dietary fatty acids for healthy adults. J Acad Nutr Diet. 2014;114:136-53.
234. Barceló-Coblijn G, Murphy EJ. Alpha-linolenic acid and its conversion to longer chain n-3 fatty acids: benefits for human health and a role in maintaining tissue n-3 fatty acid levels. Prog Lipid Res. 2009;48:355-74.
235. Calder PC. Omega-3 fatty acids and inflammatory processes: from molecules to man. Biochem Soc Trans. 2017;45:1105-15.
236. Yamashima T. "PUFA-GPR40-CREB signalling" hypothesis for the adult primate neurogenesis. Prog Lipid Res. 2012;51:221-31.
237. Scientific Opinion of the Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies on a request from the Commission related to labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids (Question No EFSA-Q-2009-00548). Labelling reference intake values for n-3 and n-6 polyunsaturated fatty acids. EFSA Journal. 2009;1176:1-11.
238. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition, and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol. EFSA Journal. 2010;8:1461.
239. Stepto NK, Carey AL, Staudacher HM, Cummings NK, Burke LM, Hawley JA. Effect of short-term fat adaptation on high-intensity training. Med Sci Sports Exerc. 2002;34:449-55.
240. De Moffarts B, Kirschvink N, Art T, Pincemail J, Lekeux P. Effect of exercise on blood oxidant/antioxidant markers in standardbred horses: comparison between treadmill and ce track tests. Equine Vet J Suppl. 2006;36:254-7.
241. Tachtsis B, Camera D, Lacham-Kaplan O. Potential roles of n-3 PUFAs during skeletal muscle growth and regeneration. Nutrients. 2018;10:1-20.
242. Kaur G, Guo XF, Sinclair AJ. Short update on docosapentaenoic acid: a bioactive long-chain n-3 fatty acid. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2016;19:88-91.
243. García Gabarra A. Ingestas recomendadas en la UE: niveles mínimos, óptimos y máximos. En: Suplementación nutricional. AFEPADI, Asociación de Empresas de Dietéticos y Complementos Alimenticios; León; 2011. p. 31-51.
244. Simopoulos AP. Omega-3 fatty acids and athletics. Curr Sports Med Rep. 2007;6:230-6.
245. Von Schacky C, Kemper M, Haslbauer R, Halle M. Low omega-3 index in 106 German elite winter endurance athletes: a pilot study. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2014;24:559-64.
246. Drobnic F, Rueda F, Pons V, Banquells M, Cordobilla B, Domingo JC. Erythrocyte omega-3 fatty acid content in elite athletes in response to omega-3 supplementation: a dose-response pilot study. J Lipids. 2017;2017:1472719.
247. EFSA, 2012 EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion related yo the tolerable upper intaje level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA). EFSA Journal. 2012;10:2815.
248. Nieman DC, Henson DA, McAnulty SR, Jin F, Maxwell KR. N-3 polyunsaturated fatty acids do not alter immune and inflammation measures in endurance athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2009;19:536-46.
249. Raastad T, Høstmark AT, Strømme SB. Omega-3 fatty acid supplementation does not improve maximal aerobic power, anaerobic threshold and running performance in well-trained soccer players. Scan J Med Sci Sports. 1997;7:25-31.
250. Gravina L, Brown FF, Alexander L, Dick J, Bell G, Witard OC, et al. N-3 fatty acid supplementation during 4 weeks of training leads to improved anaerobic endurance capacity, but not maximal strength, speed, or power in soccer players. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2017;27:305-13.
251. Peoples GE, McLenan PL, Howe PR, Groeller H. Fish oil reduces heart rate and oxygen consumption during exercise. J Cardiovasc Pharmacol. 2008;52:540-7.
252. Buckley JD, Burgess S, Murphy KJ, Howe PR. DHA-rich fish oil lowers heart rate during submaximal exercise in elite Australian rules footballers. J Sci Med Sport. 2009;12:503-7.
253. Zebrowska A, Mizia-Stec K, Mizia M, Gąsior Z, Poprzęcki S. Omega-3 fatty acids supplementation improves endothelial function and maximal oxygen uptake in endurance-trained athletes. Eur J Sport Sci. 2015;15:305-14.
254. Hingley L, Macartney MJ, Brown MA, McLennan PL, Peoples GE. DHA-rich fish oil increases the omega-3 index and lowers the oxygen cost of physiologically stressful cycling in trained individuals. Int J Sports Nutr Exerc Metab. 2017;27:335-43.
255. Guzmán JF, Esteve H, Pablos C, Pablos A, Blasco C, Villegas JA. DHA-rich fish oil improves complex reaction time in female elite soccer players. J Sports Sci Med. 2011;10:301-5.
256. López-Román FJ. Estudio de la capacidad antioxidante del ácido docosahexaenoico en ciclistas. [Tesis doctoral]. Murcia: Universidad de Murcia; 2008.
257. Contreras-Fernández CJ. Modificación del daño oxidativo en un grupo de ciclistas tras consumir ácido docosahexaenoico a distintas dosis. [Tesis doctoral]. Murcia: Universidad Católica de Murcia; 2014.
258. Gray P, Chappell A, Jenkinson AM, Thies F, Gray SR. Fish oil supplementation reduces markers of oxidative stress but not muscle soreness after eccentric exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2014;24:206-14.
259. Bloomer RJ, Larson DE, Fisher-Wellman KH, Galpin AJ, Schilling BK. Effect of eicosapentaenoic and docosahexaenoic acid on resting and exercise-induced inflammatory and oxidative stress biomarkers: a randomized, placebo controlled, cross-over study. Lipids Health Dis. 2009;8:36
260. Filaire E, Massart A, Portier H, Rouveix M, Rosado F, Bage AS, et al. Effects of 6 weeks of n-3 fatty acids supplementation oxidative stress in judo athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2011;20:496-506.
261. Smith GI, Atherton P, Reeds DN, Mohammed BS, Rankin D, Rennie MJ, et al. Omega-3 polyunsaturated fatty acids augment the muscle protein anabolic response to hyperinsulinaemia-hyperaminoacidaemia in healthy young and middle-aged men and women. Clin Sci. 2011;121:267-78.
262. Lewis EJ, Radonic PW, Wolever TM, Wells GD. 21 days of mammalian omega-3 fatty acid supplementation improves aspects of neuromuscular function and performance in male athletes compared to olive oil placebo. J Int Soc Sports Nutr. 2015;12:28.
263. McGlory C, Wardle SL, Macnaughton LS, Witard OC, Scott F, Dick J, et al. Fish oil supplementation suppresses resistance exercise and feeding-induced increases in anabolic signaling without affecting myofibrillar protein synthesis in young men. Physiol Rep. 2016;4. pii: e12715.
264. Smith GI, Jullian S, Reeds DN, Sinacore DR, Klein S, Mittendorfer B. Fish oil-derived n-3 PUFA therapy increases muscle mass and function in healthy older adults. Am J Clin Nutr. 2015;102:115-22.
265. Lalia AZ, Dasari S, Robinson MM, Abid H, Morse DM, Klaus KA, et al. Influence of omega-3 fatty acids on skeletal muscle protein metabolism and mitochondrial bioenergetics in older adults. Aging (Albany NY). 2017;9:1096-129.
266. Rodacki CL, Rodacki AL, Pereira G, Naliwaiko K, Coelho I, Pequito D, et al. Fish-oil supplementation enhances the effects of strength training in elderly women. Am J Clin Nutr. 2012;95:428-36.
267. Da Boit M, Sibson R, Sivasubramaniam S, Meakin JR, Greig CA, Aspden RM, et al. Sex differences in the effect of fish-oil supplementation on the adaptive response to resistance exercise training in older people: a randomized controlled trial. Am J Clin Nutr. 2017;105:151-8.
268. Philpott JD, Donnely C, Walshe IH, MacKinley EE, Dick J, Galloway SDR, et al. Adding fish oil to whey protein, leucine and carbohydrate over a 6 week supplementation period attenuates muscle soreness following eccentric exercise in competitive soccer players. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28:26-36.
269. Marques CG, Santos VC, Levada-Pires AC, Jacintho TM, Gorjão R, Pithon-Curi TC, et al. Effects of DHA-rich fish oil supplementation on the lipid profile, markers of muscle damage, and neutrophil function in wheelchair basketball athletes before and after acute exercise. Appl Physiol Nutr Metab. 2015;40:596-604.
270. Capó X, Martorell M, Sureda A, Tur JA, Pons A. Effects of dietary docosahexaenoic, training and acute exercise on lipids mediators. J Int Soc Sports Nutr. 2016;13:16.
271. Toft AD, Thorn M, Ostrowski K, Asp S, Møller K, Iversen S, et al. N-3 polyunsaturated fatty acids do not affect cytokine response to strenuous exercise. J Appl Physiol (1985). 2000;89:2401-6.

272. Jakeman JR, Lambrick DM, Wooley B, Babraj JA, Faulkner JA. Effect of acute dose of omega-3 fish oil following exercise-induced muscle damage. Eur J Appl Physiol. 2017;117:575-82.
273. Ochi E, Tsuchiya Y, Yanagimoto K. Effect of eicosapentaenoic acids-rich fish oil supplementation on motor nerve function after eccentric contractions. J Int Soc Sports Nutr. 2017;14:23.
274. Corder KE, Newsham KR, McDaniel JL, Ezekiel UR, Weiss EP. Effects of short-term docosahexaenoic acid supplementation on markers of inflammation after eccentric strength exercise in women. J Sports Sci Med. 2016;15:176-83.
275. Tinsley GM, Gann JJ, Huber SR, Andre TL, La Bounty PM, Bowden RG, et al. Effects of fish oil supplementation on postresistance exercise muscle soreness. J Diet Suppl. 2017;14:89-100.
276. Tsuchiya Y, Yanagimoto K, Nakazato K, Hayamizu K, Ochi E. Eicosapentaenoic and docosahexaenoic acids-rich fish oil supplementation attenuates strength loss and limited joint range of motion after eccentric contractions: a randomized, double-blind, placebo-controlled, parallel-group trial. Eur J Appl Physiol. 2016;116:1179-88.
277. Jouris KB, McDaniel JL, Weiss EP. The effect of omega-3 fatty acid supplementation on the inflammatory response to eccentric strength exercise. J Sports Sci Med. 2011;10:432-8.
278. Huffman DM, Michaelson JL, Thomas TR, Derek M, Huffman JL, Michaelson TR. Chronic supplementation with fish oil increases fat oxidation during exercise in young men. J Exerc Physiol. 2004;7:48-56.
279. Logan SL, Spriet LL. Omega-3 fatty acid supplementation for 12 weeks increases resting and exercise metabolic rate in healthy community-dwelling older females. PLoS One. 2015;10:e0144828.
280. Zhang YY, Liu W, Zhao TY, Tian HM. Efficacy of omega-3 polyunsaturated fatty acids supplementation in managing overweight and obesity: a meta-analysis of randomized clinical trials. J Nutr Health Aging. 2017;21:187-92.
281. Noreen EE, Sass MJ, Crowe ML, Pabon VA, Brandauer J, Averill K. Effects of supplemental fish oil on resting metabolic rate, body composition, and salivary cortisol in healthy adults. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7:31.
282. Jannas-Vela S, Roke K, Boville S, Mutch DM, Spriet LL. Lack of effects of fish oil supplementation for 12 weeks on resting metabolic rate and substrate oxidation in healthy young men: a randomized controlled trial. PLoS One. 2017;12:e0172576.
283. Delaure J, Labarthe F, Cohen R. Fish-oil supplementation reduces stimulation of plasma glucose fluxes during exercise in untrained males. Br J Nutr. 2003;90:777-86.
284. Santos VC, Levada-Pires AC, Alves SR, Pithon-Curi TC, Curi R, Cury-Boaventura MF. Effects of DHA-rich fish oil supplementation on lymphocyte function before and after a marathon race. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2013;23:161-9.
285. De Lourdes NRC, Rodacki AL, Coelho I, Pequito D, Krause M, Bonatto S, et al. Influence of fish oil supplementation and strength training on some functional aspects of immune cell in healthy elderly women. Br J Nutr. 2015;114:43-52.
286. Simopoulos AP. An increase in the omega-6/omega-3 fatty acid ratio increases the risk for obesity. Nutrients. 2016;8:128.
287. Daley CA, Abbott A, Doyle PS, Nader GA, Larson S. A review of fatty acid profiles and antioxidant content in grass-fed and grain-fed beef. Nutr J. 2010;9:10.
288. FAO (Food and Agriculture Organization, IT). Fats and fatty acids in human nutrition. Report of an expert consultation. FAO Food and Nutrition Paper 91. Rome: FAO; 2010.
289. Frigolet ME, Gutiérrez-Aguilar R. The role of the novel lipokine palmitoleic acid in health and disease. Adv Nutr. 2017;8:173S-81S.
290. Hodson L, Karpe F. Is there something special about palmitoleate? Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2013;16:225-31.
291. Schwingshackl L, Christoph M, Hoffmann G. Effects of olive oil on markers of inflammation and endothelial function — a systematic review and meta-analysis. Nutrients. 2015;7:7651-75.
292. Casas R, Estruch R, Sacanella E. The protective effects of extra virgin olive oil on immune-mediated inflammatory responses. Endoc Metab Immune Disord Drug Targets. 2018;18:23-35.
293. Carnevale R, Pignatelli P, Nocella C, Loffredo L, Pastori D, Vicario T, et al. Extra virgin olive oil blunt post-prandial oxidative stress via NOX2 down-regulation. Atherosclerosis. 2014;235:649-58.
294. Violi F, Loffredo L, Pignatelli P, Angelico F, Bartimoccia S, Nocella C, et al. Extra virgin olive oil use in associated with improved post-prandial blood glucose and LDL cholesterol in healthy subjects. Nutr Diabetes. 2015;5:e172.
295. González Boto R, García López D, Herrero Alonso JA. La suplementación con creatina en el deporte y su relación con el rendimiento deportivo. Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte. 2003;3:242-59.
296. Snow RJ, Murphy RM. Factors influencing creatine loading into human skeletal muscle. Exerc Sport Sci Rev. 2003;31;154-8.
297. Walzer B, Speer O, Boehm E, Kristiansen S, Chan S, Clarke K, et al. New creatine transporter assay and identification of distintict creatine transporter isoforms in muscle. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2002;283:390-401.
298. Greenwood M, Kreider R, Earnest C, Rasmussen C, Almada A. Differences in creatine retention among three nutritional formulations of oral creatine supplements. JEPonline. 2003;6:37-43.
299. Hopwood MJ, Graham K, Rooney KB. Creatine supplementation and swim performance: a brief review. J Sports Sci Med. 2006;5:10-24.
300. Tomcik KA, Camera DM, Bone JL, Ross ML, Jeacoke NA, Tachtsis B, et al. Effects of creatine and carbohydrate loading on cycling time trial performance. Med Sci Sports Exerc. 2018;50:141-50.
301. Aedma M, Timpmann S, Lëtt E, Ööpik V. Short-term creatine supplementation has no impact on upper-body anaerobic power in trained wrestlers. J Int Soc Sports Nutr. 2015;12:45.
302. Lanhers C, Pereira B, Naughton G, Trousselard M, Message FX, Dutheil F. Creatine supplementation and upper limb strength performance: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2017;47:163-73.
303. Lanhers C, Pereira B, Naughton G, Trousselard M, Lesage FX, Dutheil F. Creatine supplementation and upper limb strength performance: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2017;47:163-73.
304. Roberts PA, Fox J, Peirce N, Jones SW, Casey A, Greenhalf PL. Creatine ingestion augments dietary carbohydrate mediated muscle glycogen supercompensation during the initial 24 h of recovery following prolonged exhaustive exercise in humans. Amino Acids. 2016;48:1831-42.
305. Forbes SC, Sletten N, Durrer C, Myette-Cote E, Candow D, Little JP. Creatine monohydrate supplementation does not augment fitness, performance, or body composition adaptations in response to four weeks of high-intensity interval training in young females. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2016;27;285-92.
306. Syrotuik DG, Bell GJ. Acute creatine monohydrate supplementation: a descriptive physiological prolife of responders vs. nonresponders. J Strength Cond Res. 2004;18:610-7.
307. Persky A, Brazeau GA. Clinical pharmacology of the dietary supplement creatine monohydrate. Pharmacol Rev. 2001;53:161-76.
308. Rawson ES, Volek JS. Effects of creatine supplementation and resistance training on muscle strength and weightlifting performance. J Strength Cond Res. 2003;17:822-31.
309. Doherty M, Smith PM, Davison RC, Hughes MG. Caffeine is ergogenic after supplementation of oral creatine monohydrate. Med Sci Sports Exc. 2002;34:1785-92.
310. Izquierdo M, Ibañez J, González-Badillo JJ, Gorostiaga EM. Effects of creatine supplementation on muscle power, endurance, and sprint performance. Med Sci Sports Exerc. 2002;34:332-43.
311. Kreider RB, Ferreira M, Wilson M, Almada AL. Effects of calcium beta-hydroxy-beta-ethylbutyrate (HMB) supplementation during resistance-training on markers of catabolism, body composition and strength. Int J Sports Med. 1999;20:503-9.
312. Manjarrez-Montes-de-Oca R, Torres-Vaca M, González-Gallego J, Alvear-Ordenes I. β-hydroxy-β-methylbutyrate as a dietary supplement (I): metabolism and toxicity. Nutr Hosp. 2014;31:590-6.
313. Nissen SL, Sharp RL. Effect of dietary supplements on lean mass and strength gains with resistance exercise: a meta-analysis. J Appl Physiol. 2003;94:651-9.
314. Jówko E, Ostaszewski P, Jank M, Sacharuk J, Zieniewicz A, Wilczak J, et al. Creatine and betahydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) additively increase lean body mass and muscle strength during a weight-training program. Nutrition. 2001;17:558-66.
315. Vukovich MD, Slater G, Macchi MB, Turner MJ, Fallon K, Boston T, et al. Beta-hydroxybeta-methylbutyrate (HMB). Kinetics and the influence of glucose ingestion in humans. J Nutr Biochem. 2001;12:631-9.
316. Rowlands DS, Thomson JS. Effects of betahydroxy-beta-methylbutyrate supplementation during resistance training on strength, body composition, and muscle damage in trained and untrained young men: a meta-analysis. J Strength Cond Res. 2009;23:836-46.
317. Kornasio R, Riederer I, Butler-Browne G, Mouly V, Uni Z, Halevy O. Beta-hydroxy-betamethylbutyrate (HMB) stimulates myogenic cell proliferation, differentiation and survival via the MAPK/ERK and PI3K/Akt pathways. Biochim Biophys Acta. 2009;1793:755-63.
318. Lamboley CR, Royer D, Dionne IJ. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on aerobic performance components and body composition in college students. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2007;17:56-69.
319. O'Connor DM, Crowe MJ. Effects of beta-hydroxybeta- methylbutyrate and creatine monohydrate supplementation on the aerobic and anaerobic capacity of highly trained athletes. J Sports Med Phys Fitness. 2003;43:64-8.
320. Wilson JM, Kim JS, Lee SR, Rathmacher JA, Dalmau B, Kingsley JD, et al. Acute and timing effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on indirect markers of skeletal muscle damage. Nutr Metab (Lond). 2009;6:6.

321. Slater G, Jenkins D, Logan P, Lee H, Vukovich M, Rathmacher JA, et al. Beta-hydroxy-betamethylbutyrate (HMB) supplementation does not affect changes in strength or body composition during resistance training in trained men. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2001;11:384-96.
322. Wilson JM, Lowery RP, Roy JM, Andersen JC, Wilson EMC, Stout JR, et al. Effects of 12 weeks of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate free acid supplementation on muscle mass, strength, and power in resistance-trained individuals: a randomized, double-blind, placebo-controlled study. Eur J Appl Physiol. 2014;114:1217-27.
323. Clarkson PM, Rawson ES. Nutritional supplements to increase muscle mass. Crit Rev Food Sci Nutr. 1999;39:317-28.
324. May PE, Barber A, D'Olimpio JT, Hourihana A, Abumrad N. Reversal of cancer-related washing using oral supplementation with a combination of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate, arginine and glutamine. Am J Surg. 2002;183:471-9.
325. Smith HJ, Mukerji P, Tisdale MJ. Attenuation of proteasome-induced proteolysis in skeletal muscle by beta-hydroxy-beta-metilbutyrate in cancer induced muscle loss. Cancer Res. 2005;65:277-83.
326. Sandri M. Protein breakdown in muscle wasting: role of autophagy-lysosome and ubiquitin-proteasome. Int J Biochem Cell Biol. 2013;45:2121-9.
327. Wilson JM, Fitschen PJ, Campbell B, Wilson GJ, Zanchi N, Taylor L, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB). J Int Soc Sports Nutr. 2013;10:6.
328. Liang MT, Podolka TD, Chuang WJ. Panax notoginseng supplementation enhances physical performance during endurance exercise. J Strength Cond Res. 2005;19:108-14.
329. Rathmacher JA, Nissen S, Panton L, Clark RH, Eubank May P, Barber AE, et al. Supplementation with a combination of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB), arginine, and glutamine is safe and could improve hematological parameters. JPEN Parenter Enteral Nutr. 2004;28:65-75.
330. Stephens FB, Constantin-Teodosiu D, Greenhaff PL. New insights concerning the role of carnitine in the regulation of fuel metabolism in skeletal muscle. J Physiol. 2007;581(Pt 2):431-44.
331. Soop M, Björkman O, Cederblad G, Hagenfeldt L, Wahren J. Influence of carnitine supplementation on muscle substrate and carnitine metabolism during exercise. J Appl Physiol. 1988;64:2394-9.
332. Juhn MS. Ergogenic aids in aerobic activity. Curr Sports Med Rep. 2002;1:233-8.
333. Koh-Banergee PK, Ferreira MP, Greenwood M, Bowden RG, Cowan PN, Almeda AL, et al. Effects of calcium pyruvate supplementation during training on body composition, exercise capacity and metabolic responses to exercise. Nutrition. 2005;21:312-9.
334. Volek JS, Kraemer WJ, Rubin MR, Gómez AL, Ratamess NA, Gaynor P. L-carnitine L-tartrate supplementation favorably affects markers of recovery from exercise stress. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2002;282:E474-82.
335. Kim J, Park J, Lim K. Nutrition supplements to stimulate lipolysis: a review in relation to endurance exercise capacity. J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo). 2016;62:141-61.
336. Kim JH, Pan JH, Lee ES, Kim YJ. L-carnitine enhanced exercise endurance capacity by promoting muscle oxidative metabolism in mice. Biochem Biophys Res Commun. 2015;464:568-73.
337. Pala R, Genc E, Tuzcu M, Orhan C, Sahin N, Er B, et al. L-carnitine supplementation increases expression of PPAR-y and glucose transporters in skeletal muscle of chronically and acutely exercised rats. Cell Mol Biol (Noisy-le-grand). 2018;64:1-6.
338. Pandareesh H, Anand T. Ergogenic effect of dietary L-carnitine and fat supplementation against exercise induced physical fatigue in wistar rats. J Physiol Biochem. 2013;69:799-809.
339. Brass EP. Supplemental carnitine and exercise. Am J Clin Nutr. 2000;72(2 Suppl): 618S-23S.
340. Burrus BM, Moscicki BM, Matthews TD, Paolone VJ. The effect of acute L-carnitine and carbohydrate intake of cycling performance. Int J Exerc Sci. 2018;11:404-16.
341. Broad EM, Maughan RJ, Galloway SD. Effects of four weeks L-carnitine L-tartrate ingestion on substrate utilization during prolonged exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2005;15:665-79.
342. Wall BT, Stephens FB, Constantin-Teodosiu D, Marimuthu K, Macdonald IA, Greenhaff PL. Chronic oral ingestion of L-carnitine and carbohydrate increases muscle carnitine content and alters muscle fuel metabolism during exercise in humans. J Physiol. 2011;589:963-73.
343. Shannon CE, Ghosemi R, Greenhalf PL, Stephens FB. Increasing skeletal muscle carnitine availability does not alter the adaptations to high-intensity interval training. Scand J Med Sci Sports. 2018;28:107-15.
344. Spiering BA, Kraemer WJ, Hatfield DL, Vingren JL, Fragala MS, Ho JY, et al. Effects of L-carnitine, L-tartrate supplementation on muscle oxygenation responses to resistance exercise. J Strength Cond Res. 2008;22:1130-5.
345. Spiering BA, Kraemer WJ, Vingren JL, Hatfield DL, Fragala MS, Ho JY, et al. Responses of criterion variables to different supplementation does of L-carnitine L-tartrate. J Strength Cond Res. 2007;21:259-64.
346. Panrandak K, Arazi H, Khoshkhahesh F, Nakhostin-Roohi B. The effect of two-week L-carnitine supplementation on exercise-induced oxidative stress and muscle damage. Asiam J Sports Med. 2014;5:123-8.
347. Fielding R, Riede L, Lugo JP, Bellamine A. L-carnitine supplementation in recovery after exercise. Nutrients. 2018;10:E349.
348. Warren GL, Ingalls CP, Lowe DA, Armstrong RB. What mechanisms contribute to the strength loss that occurs during and in de recovery from skeletal muscle injury? J Orthop Sports Phys Ther. 2002;32:58-64.
349. Parthimos T, Schulpis KH, Angelogianni P, Tsopanakis C, Parthimos N, Tsakiris S. The in vivo and in vitro effects of L-carnitine supplementation on the erythrocyte membrane acetylcholinesterase, Na+, K+- ATPase and Mg2+- ATPase activities in basketball players. Clin Chem Lab Med. 2008;46:137-42.
350. Real Decreto 130/2018, de 16 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1487/2009, de 26 de septiembre, relativo a los complementos alimenticios. BOE núm 75, de 27/3/2018. p. 33335-42.
351. Blomstrand E, Eliasson J, Karlsson HK, Köhnke R. Branched-chain amino acids activate key enzymes in protein synthesis alter physical exercise. J Nutr. 2006;136(1 Suppl):269S-73S.
352. Fouré A, Bendahan D. Is branched-chain amino acids supplementation an efficient nutritional strategy to alleviate skeletal muscle damage? A systematic review. Nutrients. 2017;9. pii: E1047.
353. Rahimi MH, Shab-Bidar S, Mollahosseini M, Djafarian K. Branched-chain amino acid supplementation and exercise-induced muscle damage in exercise recovery: a meta-analysis of randomized clinical trials. Nutrition. 2017;42:30-6.
354. Gleeson M. Interrelationship between physical activity and branched-chain amino acids. J Nutr. 2005;135(6 Suppl):1591S-5S.
355. Shimomura Y, Murakami T, Nakai N, Nagasaki M, Harris RA. Exercise promotes BCAA catabolism: effects of BCAA supplementation on skeletal muscle during exercise. J Nutr. 2004;134(6 Suppl):1583S-7S.
356. Manonelles Marqueta P, Luque Rubia A. Guía de prevención del dopaje. Murcia: UCAM, Universidad Católica de Murcia; 2015. p. 216-7.
357. Trexler ET, Smith-Ryan AE, Stout JR, Hoffman JR, Wilborn CD, Sale C, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: beta-alanine. J Int Soc Sports Nutr. 2015;12:30.
358. Bouckenooghe T, Remacle C, Reusens B. Is taurine a functional nutrient? Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2006;9:728-33.
359. Maturo J, Kulakowski EC. Taurine binding to the purified insulin receptor. Biochem Pharmacol. 1988;37:3755-60.
360. Dawson R Jr, Biasetti M, Messina S, Dominy J. The cytoprotective role of taurine in exercise-induced muscle injury. Amino Acids. 2002;22:309-24.
361. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to taurine and "immune system protection" (ID 611), "metabolism processes" (ID 613), contribution to normal cognitive function (ID 1659), maintenance of normal cardiac function (ID 1661), maintenance of normal muscle function (ID 1949) and delay in the onset of physical fatigue during exercise (ID 1958) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2011;9:2035.
362. Waldron M, Patterson SD, Tallent J, Jeffries O. The effects of an oral taurine dose and supplementation period on endurance exercise performance in humans: a meta-analysis. Sports Med. 2018;48:1247-53.
363. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). The use of taurine and D-glucurono-gamma-lactone as constituents of the so-called "energy" drinks. EFSA Journal. 2009;935:1-31.
364. Calder PC, Yaqoob P. Glutamine and the immune system. Amino Acids. 1999;17:227-41.
365. Rowbottom DG, Keast D, Morton AR. The emerging role of glutamine as an indicator of exercise stress and overtraining. Sports Med. 1996;21:80-97.
366. Castell LM, Poortmans JR, Newsholme EA. Does glutamine have a role in reducing infections in athletes? Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1996;73:488-90.
367. Castell LM, Newsholme EA. The effects of oral glutamine supplementation on athletes after prolonged, exhaustive exercise. Nutrition. 1997;13:738-42.
368. Jackson MJ, Allen SJ, Beaudet AL, O'Brien WE. Metabolite regulation of argininosuccinate synthetase in cultured human cells. J Biol Chem. 1988;263:16388-94.
369. Álvares TS, Meirelles CM, Bhambhani YN, Paschoalin VM, Gomes PS. L -arginine as a potential ergogenic aid in healthy subjects. Sports Med. 2011;41:233-48.
370. Andrade WB, Jacinto JL, da Silva DK, Roveratti MC, Estoche JM, Oliveira DB, et al. L-arginine supplementation does not improve muscle function during recovery from resistance exercise. Appl Physiol Nutr Metab. 2018;43:928-36.

371. Eto B, Le Moel G, Porquet D, Peres G. Glutamate-arginine salts and hormonal responses to exercise. Arch Physiol Biochem. 1995;103:160-4.

372. Denis C, Dormois D, Linossier MT, Eychenne JL, Hauseux P, Lacour JR. Effect of arginine aspartate on the exercise-induced hyperammoniemia in humans: a two periods cross-over trial. Arch Int Physiol Biochim Biophys. 1991;99:123-7.

373. Wideman L, Weltman JY, Patrie JT, Bowers CY, Shah N, Story S, et al. Synergy of L -arginine and growth hormone (GH)-releasing peptide-2 on GH release: influence of gender. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2000;279:R1455-66.

374. Collier SR, Casey DP, Kanaley JA. Growth hormone responses to varying doses of oral arginine. Growth Horm IGF Res. 2005;15:136-9.

375. Closs EI, Simon A, Vékony N, Rotmann A. Plasma membrane transporters for arginine. J Nutr. 2004;134(10 Suppl):2752S-9S.

376. Kanaley JA. Growth hormone, arginine and exercise. Curr Opin Clin Nutr Metab Care. 2008;11:50-4.

377. Marcell TJ, Taaffe DR, Hawkins SA, Tarpenning KM, Pyka G, Kohlmeier L, et al. Oral arginine does not stimulate basal or augment exercise-induced GH secretion in either young or old adults. J Gerontol A Biol Sci Med Sci. 1999;54:M395-9.

378. Wagenmakers AJ. Muscle amino acid metabolism at rest and during exercise: role in human physiology and metabolism. Exerc Sport Sci Rev. 1998;26:287-314.

379. Marquezi ML, Roschel HA, dos Santa Costa A, Sawada LA, Lancha AH Jr. Effects of aspartate and asparagine supplementation on fatigue determinants in intense exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2003;13:65-7.

380. Williams MH. Facts and fallacies of purported ergogenic amino acid supplements. Clin Sports Med. 1999;18:633-49.

381. Trudeau F. Aspartate as an ergogenic supplement. Sports Med. 2008;38:9-16.

382. Parisi A, Quaranta F, Masala D, Fagnani F, Di Salvo V, Casasco M, et al. Do aspartate and asparagine acute supplementation influence the onset of fatigue in intense exercise? J Sports Med Phys Fitness. 2007;47:422-6.

383. Nishitani S, Takehana K. Pharmacological activities of branched-chain amino acids: augmentation of albumin synthesis in liver and improvement of glucose metabolism in skeletal muscle. Hepatol Res. 2004;30S:19-24.

384. Meijer AJ, Dubbelhuis PF. Amino acid signaling and the integration of metabolism. Biochem Biophys Res Commun. 2004;313:397-403.

385. Koopman R, Wagenmakers AJ, Manders RJ, Zorenc AH, Senden JM, Gorselink M, et al. Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increases post-exercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects. Am J Physiol Endocrinol Metab. 2005;288:E645-53.

386. Wall BT, Hamer HM, de Lange A, Kiskini A, Groen BB, Senden JM, et al. Leucine co-ingestion improves post-prandial muscle protein accretion in elderly men. Clin Nutr. 2013;32:412-9.

387. Mero A. Leucine supplementation and intensive training. Sports Med. 1999;27:347-58.

388. Devries MC, McGlory C, Bolster DR, Kamil A, Rahn M, Harkness L, et al. Protein leucine content is a determinant of shorter- and longer-term muscle protein synthetic responses at rest and following resistance exercise in healthy older women: a randomized, controlled trial. Am J Clin Nutr. 2018;107:217-26.

389. Penry JT, Manore MM. Choline: an important micronutrient for maximal endurance-exercise performance? Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2008;18:191-203.

390. Spector SA, Jackman MR, Sabounjian LA, Sakkas C, Landers DM, Willis WT. Effect of choline supplementation on fatigue in trained cyclists. Med Sci Sports Exerc. 1995;27:668-73.

391. Warber JP, Patton JF, Tharion WJ, Zeisel SH, Mello RP, Kemnitz CP, et al. The effects of choline supplementation on physical performance. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2000;10:170-81.

392. Jacobs PL, Goldstein ER. Long-term glycine propionyl-l-carnitine supplementation and paradoxical effects on repeated anaerobic sprint performance. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7:35.

393. Jacobs PL, Goldstein ER, Blackburn W, Orem I, Hughes JJ. Glycine propionyl-L-carnitine produces enhanced anaerobic work capacity with reduced lactate accumulation in resistance trained males. J Int Soc Sports Nutr. 2009;6:9.

394. Smith WA, Fry AC, Tschume LC, Bloomer RJ. Effect of glycine propionyl-L-carnitine on aerobic and anaerobic exercise performance. J Sport Nutr Exerc Metab. 2008;18:19-36.

395. McNaughton L, Dalton B, Tarr J. Inosine supplementation has no effect on aerobic or anaerobic cycling performance. Int J Sport Nutr. 1999;9:333-44.

396. Starling RD, Trappe TA, Short KR, Sheffield-Moore M, Jozsi AC, Fink WJ, et al. Effect of inosine supplementation on aerobic and anaerobic cycling performance. Med Sci Sports Exerc. 1996;28:1193-8.

397. Williams MH, Kreider RB, Hunter DW, Somma CT, Shall LM, Woodhouse ML, et al. Effect of inosine supplementation on 3-mile treadmill run performance and VO2 peak. Med Sci Sports Exerc. 1990;22:517-22.

398. Undem BJ. Farmacología del asma. En: Brunton LL, Lazo JS, Parker HL, editores. Goodman & Gilman. Las bases farmacológicas de la terapéutica. 11.ª ed. Bogotá: McGraw-Hill Interamericana; 2007. p. 727-30.

399. Higgins JP, Tuttle TD, Higgins CL. Energy beverages: content and safety. Mayo Clin Proc. 2010;85:1033-41.

400. Goldstein ER, Ziegenfuss T, Kalman D, Kreider R, Campbell B, Wilborn C, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: caffeine and performance. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7:5.

401. Sökmen B, Armstrong LE, Kraemer WJ, Casa DJ, Dias JC, Judelson DA, et al. Caffeine use in sports — considerations for the athlete. J Strength Cond Res. 2008;22:978-86.

402. Laurent D, Schneider KE, Prusaczyk WK, Franklin C, Vogel S, Krssak M, et al. Effects of caffeine on muscle glycogen utilization and the neuroendocrine axis during exercise. J Clin Endocrinol Metab. 2000;85:2170-5.

403. Lopes JM, Aubier M, Jardim J, Aranda JV, Macklem PT. Effect of caffeine on skeletal muscle function before and after fatigue. J Appl Physiol 1983;54:1303-5.

404. Glaister M, Gissane C. Caffeine and physiological responses to submaximal exercise: a meta-analysis. Int J Sports Physiol Perform. 2018;13:402-11.

405. EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on the substantiation of health claims related to caffeine and increase in physical performance during short-term high-intensity exercise (ID 737, 1486, 1489), increase in endurance performance (ID 737, 1486), increase in endurance capacity (ID 1488) and reduction in the rated perceived exertion/effort during exercise (ID 1488, 1490) pursuant to Article 13(1) of Regulation (EC) No 1924/2006. EFSA Journal. 2011;9:2053.

406. Lieberman HR, Tharion WJ, Shukitt-Hale B, Speckman KL, Tulley R. Effects of caffeine, sleep loss, and stress on cognitive performance and mood during U.S. Navy SEAL training. Sea-Air-Land. Psychopharmacology (Berl). 2002;164:250-61.

407. Ganio MS, Klau JF, Casa DJ, Armstrong LE, Maresh CM. Effect of caffeine on sport-specific endurance performance: a systematic review. J Strength Cond Res. 2009;23:315-24.

408. García Moreno A. La cafeína y su efecto ergogénico en el deporte (primera parte). Arch Med Deporte. 2016;33:200-6.

409. Simmonds MJ, Minahan CL, Sabapathy S. Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. Eur J Appl Physiol. 2010;109:287-95.

410. Flinn S, Gregory J, McNaughton LR, Tristram S, Davies P. Caffeine ingestion prior to incremental cycling to exhaustion in recreational cyclists. Int J Sports Med. 1990;11:188-93.

411. Jenkins NT, Trilk JL, Singhal A, O'Connor PJ, Cureton KJ. Ergogenic effects of low doses of caffeine on cycling performance. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2008;18:328-42.

412. McNaughton LR, Lovell RJ, Siegler J, Midgley AW, Moore L, Bentley DJ. The effects of caffeine ingestion on time trial cycling performance. Int J Sports Physiol Perform. 2008;3:157-63.

413. O'Rourke MP, O'Brien BJ, Knez WL, Paton CD. Caffeine has a small effect on 5-km running performance of well-trained and recreational runners. J Sci Med Sport. 2008;11:231-3.

414. MacIntosh BR, Wright BM. Caffeine ingestion and performance of a 1,500-metre swim. Can J Appl Physiol. 1995;20:168-77.

415. Bruce CR, Anderson ME, Fraser SF, Stepto NK, Klein R, Hopkins WG, et al. Enhancement of 2000-m rowing performance after caffeine ingestion. Med Sci Sports Exerc. 2000;32:1958-63.

416. Anderson ME, Bruce CR, Fraser SF, Stepto NK, Klein R, Hopkins WG, et al. Improved 2000-meter rowing performance in competitive oarswomen after caffeine ingestion. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2000;10:464-75.

417. Hornery DJ, Farrow D, Mujika I, Young WB. Caffeine, carbohydrate, and cooling use during prolonged simulated tennis. Int J Sports Physiol Perform. 2007;2:423-38.

418. Potgieter S, Wright HH, Smith C. Caffeine improves triathlon performance: a field study in males and females. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28:228-37.

419. Puente C, Abián-Vicén J, Salinero JJ, Lara B, Areces F, Del Coso J. Caffeine improves basketball performance in experienced basketball players. Nutrients. 2017;9:E1033.

420. Warren GL, Park ND, Maresca RD, McKibans KI, Millard-Stafford ML. Effect of caffeine ingestion on muscular strength and endurance: a metaanalysis. Med Sci Sports Exerc. 2010;42:1375-87.

421. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on exercise testing: a meta-analysis. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2004;14:626-46.

422. Doherty M, Smith PM. Effects of caffeine ingestion on rating of perceived exertion during and after exercise: a meta-analysis. Scand J Med Sci Sports. 2005;15:69-78.

423. Greer F, McLean C, Graham TE. Caffeine, performance, and metabolism during repeated Wingate exercise tests. J Appl Physiol. 1998;85:1502-8.

424. Beck TW, Housh TJ, Malek MH, Mielke M, Hendrix R. The acute effects of a caffeine containing supplement on bench press strength and time to running exhaustion. J Strength Cond Res. 2008;22:1654-8.
425. Glaister M, Howatson G, Abraham CS, Lockey RA, Goodwin JE, Foley P, et al. Caffeine supplementation and multiple sprint running performance. Med Sci Sports Exerc. 2008;40:1835-40.
426. Schneiker KT, Bishop D, Dawson B, Hackett LP. Effects of caffeine on prolonged intermittentsprint ability in team-sport athletes. Med Sci Sports Exerc. 2006;38:578-85.
427. Wiles JD, Coleman D, Tegerdine M, Swaine IL. The effects of caffeine ingestion on performance time, speed and power during a laboratory-based 1 km cycling time-trial. J Sports Sci. 2006;24:1165-71.
428. Collomp K, Ahmaidi S, Chatard JC, Audran M, Préfaut C. Benefits of caffeine ingestion on sprint performance in trained and untrained swimmers. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1992;64:377-80.
429. Paton CD, Lowe T, Irvine A. Caffeinated chewing gum increases repeated sprint performance and augments increases in testosterone in competitive cyclists. Eur J Appl Physiol. 2010;110:1243-50.
430. Green JM, Wickwire PJ, McLester JR, Gendle S, Hudson G, Pritchett RC, et al. Effects of caffeine on repetitions to failure and ratings of perceived exertion during resistance training. Int J Sports Physiol Perform. 2007;2:250-9.
431. Woolf K, Bidwell WK, Carlson AG. The effect of caffeine as an ergogenic aid in anaerobic exercise. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2008;18:412-29.
432. Hendrix CR, Housh TJ, Mielke M, Zuniga JM, Camic CL, Johnson GO, et al. Acute effects of a caffeine-containing supplement on bench press and leg extension strength and time to exhaustion during cycle ergometry. J Strength Cond Res. 2010;24:859-65.
433. Astorino TA, Roberson DW. Efficacy of acute caffeine ingestion for short-term high-intensity exercise performance: a systematic review. J Strength Cond Res. 2010; 24:257-65.
434. Grgic J, Trexler ET, Lazinica B, Pedisic Z. Effects of caffeine intake on muscle strength and power: a systematic review and meta-analysis. J Int Soc Sports Nutr. 2018;15:11.
435. Carr A, Dawson B, Schneiker K, Goodman C, Lay B. Effect of caffeine supplementation on repeated sprint running performance. J Sports Med Phys Fitness. 2008;48:472-8.
436. Pontifex KJ, Wallman KE, Dawson BT, Goodman C. Effects of caffeine on repeated sprint ability, reactive agility time, sleep and next day performance. J Sports Med Phys Fitness. 2010;50:455-64.
437. Stuart GR, Hopkins WG, Cook C, Cairns SP. Multiple effects of caffeine on simulated high intensity team-sport performance. Med Sci Sports Exerc. 2005;37:1998-2005.
438. Foskett A, Ali A, Gant N. Caffeine enhances cognitive function and skill performance during simulated soccer activity. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2009;19:410-23.
439. Kovacs EM, Stegen JHCH, Brouns F. Effect of caffeinated drinks on substrate metabolism, caffeine excretion, and performance. J Appl Physiol. 1998;85:709-15.
440. Graham TE, Hibbert E, Sathasivam P. Metabolic and exercise endurance effects of coffee and caffeine ingestion. J Appl Physiol. 1998;85:883-9.
441. Magkos F, Kavouras SA. Caffeine use in sports, pharmacokinetics in man, and cellular mechanisms of action. Crit Rev Food Sci Nutr. 2005;45:535-62.
442. González Gallego J, Rodríguez Huertas JF. Nutrición en la actividad física y deportiva. En: Gil A, editor. Tratado de nutrición. Tomo III. Madrid: Médica Panamericana; 2010. p. 373-4.
443. Desbrow B, Barrett CM, Minahan CL, Grant GD, Leveritt MD. Caffeine, cycling performance, and exogenous CHO oxidation: a dose-response study. Med Sci Sports Exerc. 2009;41:1744-51.
444. Beaumont R, Cordery P, Funnell M, Mears S, James L, Watson P. Chronic ingestion of a low dose of caffeine induces tolerance to the performance benefits of caffeine. J Sports Sci. 2017;35:1920-7.
445. Irwin C, Desbrow B, Ellis A, O'Keeffe B, Grant G, Leveritt M. Caffeine withdrawal and high-intensity endurance cycling performance. J Sports Sci. 2011;29:509-15.
446. Goldstein E, Jacobs PL, Whitehurst M, Penhollow T, Antonio J. Caffeine enhances upper body strength in resistance-trained women. J Int Soc Sports Nutr. 2010;7:18.
447. Bell DG, McLellan TM. Exercise endurance 1, 3, and 6 h after caffeine ingestion in caffeine users and nonusers. J Appl Physiol (1985). 2002;93:1227-34.
448. Wickham KA, Spriet LL. Administration of caffeine in alternate forms. Sports Med. 2018;48(Suppl 1):79-91.
449. Palacios Gil-Antuñano N, Iglesias-Gutiérrez E, Úbeda Martín N. Efecto de la cafeína en el rendimiento deportivo. Med Clin (Barc). 2008;131:751-6.
450. Reissig CJ, Strain EC, Griffiths RR. Caffeinated energy drinks. A growing problem. Drug Alcohol Depend. 2009;99:1-10.
451. Vademecum Internacional. 11 ed. Madrid: UBM Médica; 2011.
452. Jeukendrup A, Gleeson M. Nutrition supplements. En: Jeukendrup A, Gleeson M, editores. Sport nutrition. Champaign: Human Kinetics; 2004. p. 239-43.
453. Armstrong LE, Casa DJ, Maresh CM, Ganio MS. Caffeine, fluid-electrolyte balance, temperature regulation, and exercise-heat tolerance. Exerc Sport Sci Rev. 2007;35:135-40.
454. Zhang Y, Coca A, Casa DJ, Antonio J, Green JM, Bishop PA. Caffeine and diuresis during rest and exercise: a meta-analysis. J Sci Med Sport. 2015;18:569-74.
455. European Food Safety Authority. Outcome of a public consultation on the draft Scientific Opinion of the EFSA Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA) on the safety of caffeine. EFSA Supporting Publication 2015: EN-811.
456. Clauson KA, Shields KM, McQueen CE, Persad N. Safety issues associated with commercially available energy drinks. J Am Pharm Assoc (2003). 2008;48:e55-e63.
457. Smith N, Atroch AL. Guarana's journey from regional tonic to aphrodisiac and global energy drink. Evid Based Complement Alternat Med. 2010;7:279-82.
458. Liu L, Wu X, Zhang B, Yang W, Li D, Dong Y, et al. Protective effects of tea polyphenols on exhaustive exercise-induced fatigue, inflammation and tissue damage. Food Nutr Res. 2017;61:1333390.
459. Tsai TW, Chang CC, Liao SF, Liao YH, Hou CW, Tsao JP, et al. Effect of green tea extract supplementation on glycogen replenishment in exercised human skeletal muscle. Br J Nutr. 2017;117:1343-50.
460. Sies H. Oxidative stress: oxidants and antioxidants. Exp Physiol. 1997;82:291-5.
461. Valko M, Leibfritz D, Mongol J, Cronin M, Mazur M, Telser J. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease. Int J Biochem Cell Biol. 2007;30:44-8.
462. González J, Sánchez P, Mataix J. Nutrición en el deporte: ayudas ergogénicas y dopaje. Madrid: Díaz de Santos; 2006. p. 361-2.
463. Leeuwenburgh C, Heinecke J. Oxidative stress and antioxidants in exercise. Curr Med Chem. 2001;8:829-38.
464. Mankowski RT, Anton SD, Buford TW, Leeuwenburgh C. Dietary antioxidants as modifiers of physiologic adaptations to exercise. Med Sci Sports Exerc. 2015;47:1857-68.
465. Folkers K. Basic chemical research on coenzyme Q10 and integrated clinical research on therapy of diseases. Biomed Clin Aspects Coenzyme Q. 1985;5:457-78.
466. Folkers K, Yamagame T, Littarru GP. Biomedical and clinical aspects of coenzyme Q. Amsterdam: Elsevier; 1991. Vol. 6. p. 1-555.
467. Mizuno K, Tanaka M, Nozaki S, Mizuma H, Ataka S, Tahara T, et al. Antifatigue effects of coenzyme Q10 during physical fatigue. Nutrition. 2008;24:293-9.
468. Kon M, Tanabe K, Akimoto T, Kimura F, Tanimura Y, Shimizu K, et al. Reducing exercise induced muscular injury in kendo athletes with supplementation of coenzyme Q10. Br J Nutr. 2008;100:903-9.
469. Gokbel H, Gul I, Belvirant M, Okudan N. The effects of coenzyme Q10 supplementation on performance during repeated bouts of supramaximal exercise in sedentary men. J Strength Cond Res. 2010;24:97-102.
470. Litarru GP, Tiano L. Clinical aspects of coenzyme Q10: an update. Nutrition. 2010; 26:250-4.
471. Cooke M, Iosia M, Buford T, Shelmadine B, Hudson G, Kerksick C, et al. Effects of acute and 14-day coenzyme Q10 supplementation on exercise performance in both trained and untrained individuals. J Int Soc Sports Nutr. 2008;5:8.
472. Okudan N, Belviranli M, Torlak S. Coenzyme Q10 does not prevent exercise-induced muscle damage and oxidative stress in sedentary men. J Sports Med Phys Fitness. 2018;58:889-94.
473. Stahl W, Sies H. Antioxidant activity of carotenoids. Mol Aspects Med. 2003;24:345-51.
474. Giovannucci E, Rimm EB, Liu Y, Stampfer MS, Willet W. A prospective study of tomato products, lycopene and prostate cancer risk. J Natl Cancer Inst. 2002;94:391-8.
475. Albanes D. Beta-carotene and lung cancer: a case study. Am J Clin Nutr. 1999;69:1345-50.
476. Goldfarb AH. Nutritional antioxidants as therapeutic and preventive modalities in exercise induced muscle damage. Can J Appl Physiol. 1999;24:249-66.
477. Nieman DC, Capps CL, Capps CR, Shue ZL, McBride JE. Effect of 4-week ingestion of tomato-based carotenoids on exercise-induced inflammation, muscle damage, and oxidative stress in endurance runners. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28:266-73.
478. Ghibu S, Richard C, Vergely C, Zeller M, Cottin Y, Rochette L. Antioxidant properties of an endogenous thiol: alpha-lipoic acid, useful in the prevention of cardiovascular diseases. J Cardiovasc Pharmacol. 2009;54:391-8.
479. Sing U, Jialal I. Alpha-lipoic acid supplementation and diabetes. Nutr Rev. 2008; 66:646-57.
480. Moreira PI, Harris PL, Zhu X, Santos MS, Oliveira CR, Smith MA, et al. Lipoic acid N-acetyl cysteine decrease mitocondrial-related oxidative stress in Alzheimer disease patient fibroblasts. J Alzheimers Dis. 2007;12:195-206.

481. Strobel NA, Peake JM, Matsumoto A, Marsh SA, Coombes JS, Wadley GD. Antioxidant supplementation reduces skeletal muscle mitochondrial biogenesis. Med Sci Sports Exerc. 2011;43:1017-24.

482. Baur JA, Pearson KJ, Price NL, Jamieson HA, Lerin C, Kalra A. Resveratrol improves health and survival of mice on a high-calorie diet. Nature. 2006;444:337-42.

483. Lagouge M, Argmann C, Gerthart-Hines Z, Meziane H, Lerin C. Resveratrol improves mitochondrial function and protects against metabolic disease by activating SIRT1 and PGC-1alfa. Cell. 2006;127:1109-22.

484. Murase T, Haramizu S, Ota N, Hase T. Suppression of the aging-associated decline in physical performance by a combination of resveratrol intake and habitual exercise in senescence accelerated mice. Biogerontology. 2009;10:423-34.

485. Feige JN, Lagouge M, Canto C, Strehle A, Houten SM, Milne JC, et al. Specific SIRT1 activation mimics low energy levels and protects against diet-induced metabolic disorders by enhancing fat oxidation. Cell Metab. 2008;8:347-58.

486. Muhammad MH, Allam MM. Resveratrol and/or exercise training counteract aging-associated decline of physical endurance in aged mice; targeting mitochondrial biogenesis and function. J Physiol Sci. 2018;68:681-8.

487. Rodríguez-Bíes E, Santa-Cruz S, Navas P, López-Lluch G. Resveratrol: an ergogenic compound. Rev Andal Med Deporte. 2009;2:12-8.

488. Dufour F, White A, Urbina S, Taylor LW, Wilbom CD. Effects of 14 days of prophylactic resveretrol supplementation in trained endurance runners upon the inflammatory markers TNF-a, IL1B, and IL-6 following a single bout of eccentric exercise. J Int Soc Sports Nutr. 2011,8(Suppl):P15.

489. Ganio MS, Armstrong LE, Johnson EC, Klau JF, Ballard KD, Michniak-Kohn B, et al. Effect of quercetin supplementation on maximal oxygen uptake in men and women. J Sports Sci. 2010;28:201-8.

490. Dumke CL, Nieman DC, Utter AC, Rigby MD, Quindry JC, Triplett NT, et al. Quercetin's effect on cycling efficiency and substrate utilization. Appl Phyiol Nutr Metab. 2009;24:993-1000.

491. Cureton KJ, Tomporowski PD, Singhal A, Pasley JD, Bigelman KA, Lambourne K, et al. Dietary quercetin supplementation is not ergogenic in untrained men. J Appl Physiol. 2009;107:1095-104.

492. Utter AC, Nieman DC, Kang J, Dumke CL, Quindry JC, McAnulty SR, et al. Quercetin does not affect rating of perceived exertion in athletes during the Western States endurance run. Res Sports Med. 2009;17:71-83.

493. Quindry JC, McAnulty SR, Hudson MB, Hisick P, Dumke C, McAnulty LS, et al. Oral quercetin supplementation and blood oxidative capacity in response to ultramarathon competition. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2008;18:601-16.

494. National Institutes of Health. Dietary supplements for exercise and athletic performance. National Institutes of Health. (Consultado el 27/5/2019.) Disponible en: https://ods.od.nih.gov/factsheets/ExerciseAndAthleticPerformance-HealthProfessional/#quercetin

495. Murase T, Haramizu S, Ota N, Hase T. Tea catechin ingestion combined with habitual exercise suppresses the aging-associated decline in physical performance in senescence-accelerated mice. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2008;295:R281-9.

496. Jowko E. Green tea catechins and sports performance. En: Lamprecht M, editor. Antioxidants in sport nutrition. Boca Ratón: CRC Press/Taylor & Francis; 2015. p. 123-140.

497. EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS); Younes M, Aggett P, Aguilar F, Crebelli R, Dusemund B, Filipic M, et al. Scientific opinion on the safety of green tea catechins. EFSA Journal. 2018;16:5239.

498. Pilaczynska-Szczesniak L, Skarpanska-Steinborn A, Deskur E, Basta P, Horoszhiewicz-Hassan M. The influence of chokeberry juice supplementation on the reduction of oxidative stress resulting from an incremental rowing ergometer exercise. Int J Nutr Exerc Metab. 2005;15:48-58.

499. Morillas-Ruiz J, Zafrilla P, Almar M, Cuevas MJ, López FJ, Abellán P, et al. The effects of an antioxidant-supplementation beverage on exercise-induce oxidative stress: results from a placebo-controlled double-blind study in cyclists. Eur J Appl Physiol. 2005;95:543-9.

500. Morillas-Ruiz JM, Villegas JA, López FJ, Vidal-Guevara ML, Zafrilla P. Effects of polyphenolics antioxidants on exercise-induced oxidative stress. Clin Nutr. 2006;25:444-53.

501. Sureda A, Tauler P, Aguiló A, Cases N, Llompart I, Tur JA, et al. Influence of an antioxidant vitamin-enriched drink on pre- and post-exercise lymphocyte antioxidant system. Ann Nutr Metab. 2008;52:233-40.

502. Lyall KA, Hurst SM, Cooney J, Jensen D, Lo K, Hurst RD, et al. Short-term blackcurrant extract consumption modulates exercise-induced oxidative stress and lipopolysacharide-stimulated inflammatory responses. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2009;297:R70-81.

503. Bowtell JL, Sumners DP, Dyer A, Fox P, Mileva KN. Montmorency cherry juice reduces muscle damage caused by intensive strength exercise. Med Sci Sports Exerc. 2011;43:1544-51.

504. Coelho Rabello Lima L, Oliveira Assumpção C, Prestes J, Sérgio Denadai B. Consumption of cherries as a strategy to attenuate exercise-induced muscle damage and inflammation in humans. Nutr Hosp. 2015;32:1885-93.

505. Teixeira S. Bioflavonoids: proanthocyanidins and quercetin and their potencial roles in treating musculoskeletal conditions. J Orthop Sports Phys Ther. 2002;32:357-63.

506. Narayana BA, Geoffroy O, Willingham MC, Re GG, Nixon DW. Expression and its possible role in G1 arrest and apoptosis in ellagic acid treated cancer cells. Cancer Lett. 1999;136:215-21.

507. Meyer AS, Heinonen M, Frankel EN. Antioxidant interactions of catechin, cyanidin, caffeic acid, quercetin, and ellagic acid on human LDL oxidation. Food Chemistry. 1998;61:71-5.

508. Sen CK, Rankinen T, Vauisanen S, Rauramaa R. Oxidative stress after human exercise: effect after N-acetylcysteine supplementation. J Appl Physiol. 1994;76:2570-7.

509. Sen CK, Atalay M, Hanninen O. Exercise-induced oxidative stress: glutathione supplementation and deficiency. J Appl Physiol. 1994;77:2177-87.

510. Nielsen HB, Kharazmi A, Bolbjerg ML, Poulsen HE, Pedersen BK, Secher NH. N-acetylcysteine attenuates oxidative burst by neutrophils in response to ergometer rowing with no effect on pulmonary gas exchange. Int J Sports Med. 2001;22:256-60.

511. Braakhuis AJ, Hopkins WG. Impact of dietary antioxidants on sport performance: a review. Sports Med. 2015;45:939-55.

512. McLeay Y, Stannard S, Houltham S, Starck C. Dietary thiols in exercise: oxidative stress defence, exercise performance, and adaptation. J Int Soc Sports Nutr. 2017;14:12.

513. Rhodes K, Braakhuis A. Performance and side effects of supplementation with N-acetylcysteine: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2017;47:1619-36.

514. Sciberras JN, Galloway SD, Fenech A, Grech G, Farrugia C, Duca D, et al. The effect of turmeric (curcumin) supplementation on cytokine and inflammatory marker responses following 2 hours of endurance cycling. J Int Soc Sports Nutr. 2015;12:5.

515. O'Sullivan O, Cronin O, Clarke SF, Murphy EF, Molloy MG, Shanahan F, et al. Exercise and the microbiota. Gut Microbes. 2015;6:131-6.

516. Claesson MJ, Jeffery IB, Conde S, Power SE, O'Connor EM, Cusack S, et al. Gut microbiota composition correlates with diet and health in the elderly. Nature. 2012;488:178-84.

517. Clarke SF, Murphy EF, O'Sullivan O, Lucey AJ, Humphreys M, Hogan A, et al. Exercise and associated dietary extremes impact on gut microbial diversity. Gut. 2014;63:1913-20.

518. Hold GL. The gut microbiota, dietary extremes and exercise. Gut. 2014;63:1838-9.

519. López-Varela S, González-Gross M, Marcos A. Functional foods and the immune system: a review. Eur J Clin Nutr. 2002;56(Suppl 3):S29-33.

520. Gibson GR, Roberfroid MB. Dietary modulation of the human colonic microbiota: introducing the concept of prebiotics. J Nutr. 1995;125:1401-12.

521. Chandra RK. Nutrition and immunology: from the clinic to cellular biology and back again. Proc Nutr Soc. 1999;58:681-3.

522. Hao Q, Dong BR, Wu T. Probiotics for preventing acute upper respiratory tract infections. Cochrane Database Syst Rev. 2015;(2):CD006895.

523. Orel R, Kamhi Trop T. Intestinal microbiota, probiotics and prebiotics in inflammatory bowel disease. World J Gastroenterol. 2014;20:11505-24.

524. Gleeson M, Bishop NC, Oliveira M, Tauler P. Daily probiotic's (Lactobacillus casei shirota) reduction of infection incidence in athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2011;21:55-64.

525. Nieman DC. Immune response to heavy exertion. J Appl Physiol. 1997;82:1385-94.

526. Montero A, López-Varela S, Nova E, Marcos A. The implication of the binomial nutrition immunity on sportswomen's health. Eur J Clin Nutr. 2002;56(Suppl 3):S38-41.

527. Evans CC, LePard KJ, Kwak JW, Stancukas MC, Laskowski S, Dougherty J, et al. Exercise prevents weight gain and alters the gut microbiota in a mouse model of high fat diet-induced obesity. PLoS One. 2014;9:e92193.

528. Kadooka Y, Sato M, Imaizumi K, Ogawa A, Ikuyama K, Akai Y, et al. Regulation of abdominal adiposity by probiotics (Lactobacillus gasseri SBT2055) in adults with obese tendencies in a randomized controlled trial. Eur J Clin Nutr. 2010;64:636-43.

529. Lindfors K, Blomqvist T, Juuti-Uusitalo K, Stenman S, Venäläinen J, Mäki M, et al. Live probiotic Bifidobacterium lactis bacteria inhibit the toxic effects induced by wheat gliadin in epithelial cell culture. Clin Exp Immunol. 2008;152:552-8.

530. Corthesy B, Gaskins HR, Mercenier A. Crosstalk between probiotic bacteria and the host immune system. J Nutr. 2007;137(Suppl 2):781-90.

531. Biondo PD, Robbins SJ, Walsh JD, McCargar LJ, Harber VJ, Field CJ. A randomized controlled crossover trial of the effect of ginseng consumption on the immune response to moderate exercise in healthy sedentary men. Appl Physiol Nutr Metab. 2008;33:966-75.

532. Dowling EA, Redondo DR, Branch JD, Jones S, McNabb G, Williams MH. Effect of Eleutherococcus senticosus on submaximal and maximal exercise performance. Med Sci Sports Exerc. 1996;28:482-9.

533. Eschbach LF, Webster MJ, Boyd JC, McArthur PD, Evetovich TK. The effect of siberian ginseng (eleutherococcus senticosus) on substrate utilization and performance. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2000;10:444-51.
534. Tan BK, Vanitha J. Immunomodulatory and antimicrobial effects of some traditional chinese medicinal herbs: a review. Curr Med Chem. 2004;11:1423-30.
535. Rowbottom DG, Green KJ. Acute exercise effects on the immune system. Med Sci Sports Exerc. 2000;32(7 Suppl):S396-405.
536. Barrett B, Brown R, Rakel D, Mundt M, Bone K, Barlow S, et al. Echinacea for treating the common cold: a randomized trial. Ann Intern Med. 2010;153:769-77.
537. Mills S, Bone K. The essential guide to herbal safety. New York: Elsevier-Churchill-Livingstone; 2005. p. 318-21.
538. McNaughton LR. Sodium citrate and anaerobic performance: implications of dosage. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1990;61:392-7.
539. McNaughton L, Cedaro R. Sodium citrate ingestion and its effects on maximal anaerobic exercise of different durations. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1992;64:36-41.
540. Parry-Billings M, MacLaren DP. The effect of sodium bicarbonate and sodium citrate ingestion on anaerobic power during intermittent exercise. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1986;55:524-9.
541. Potteiger JA, Webster MJ, Nickel GL, Haub MD, Palmer RJ. The effects of buffer ingestion on metabolic factors related to distance running performance. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1996;72:365-71.
542. Feriche Fernández-Castanys B, Delgado-Fernández M, Álvarez García J. The effect of sodium citrate intake on anaerobic performance in normoxia and after sudden ascent to a moderate altitude. Sports Med Phys Fitness. 2002;42:179-85.
543. Ibáñez J, Pullinen T, Gorostiaga E, Postigo A, Mero A. Blood lactate and ammonia in short term anaerobic work following induced alkalosis. J Sports Med Phys Fitness. 1995;35:187-93.
544. Freis T, Hecksteden A, Such U, Meyer T. Effect of sodium bicarbonate on prolonged running performance: a randomized, double-blind, cross-over study. PLoS One. 2017;12:e0182158.
545. Ansdell P, Dekerle J. Sodium bicarbonate supplementation delays neuromuscular fatigue without changes in performance outcomes during a basketball match simulation protocol. J Strength Cond Res. 2017 Oct 10. doi: 10.1519/JSC.0000000000002233.
546. Gough LA, Deb SK, Sparks SA, McNaughton LR. Sodium bicarbonate improves 4 km time trial cycling performance when individualised to time to peak blood bicarbonate in trained male cyclists. J Sports Sci. 2018;36:1705-12.
547. Voces J, Álvarez AI, Vila L, Ferrando A, Cabral de Oliveira C, Prieto JG. Effects of administration of the standardized Panax ginseng extract G115 on hepatic antioxidant function after exhaustive exercise. Comp Biochem Physiol C Pharmacol Toxicol Endocrinol. 1999;123:175-84.
548. Kulaputana O, Thanakomsirichot S, Anomasiri W. Ginseng supplementation does not change lactate threshold and physical performances in physically active Thai men. J Med Assoc Thai. 2007;90:1172-9.
549. Hsu CC, Ho MC, Lin LC, Su B, Hsu MC. American ginseng supplementation attenuates creatine kinase level induced by submaximal exercise in human beings. World J Gastroenterol. 2005;11:5327-31.
550. Bach HV, Kim J, Myung SK, Cho YA. Efficacy of ginseng supplements on fatigue and physical performance: a meta-analysis. J Korean Med Sci. 2016;31:1879-86.
551. Goulet ED. Glycerol-induced hyperhydration: a method for estimating the optimal load of fluid to be ingested before exercise to maximize endurance performance. J Strength Cond Res. 2010;24:74-8.
552. Anderson MJ, Cotter JD, Garnham AP, Casley DJ, Febbraio MA. Effect of glycerol-induced hyperhydration on thermoregulation and metabolism during exercise in heat. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2001;11:315-33.
553. Nelson JL, Robergs RA. Exploring the potential ergogenic effects of glycerol hyperhydration. Sports Med. 2007;37:981-1000.
554. Kavouras SA, Armstrong LE, Maresh CM, Casa DJ, Herrera-Soto JA, Scheett TP, et al. Rehydration with glycerol: endocrine, cardiovascular, and thermoregulatory responses during exercise in the heat. J Appl Physiol. 2006;100:442-50.
555. Van Rosendal SP, Osborne MA, Fassett RG, Coombes JS. Physiological and performance effects of glycerol hyperhydration and rehydration. Nutr Rev. 2009;67:690-705.
556. Coutts A, Reaburn P, Mummery K, Holmes M. The effect of glycerol hyperhydration on olympic distance triathlon performance in high ambient temperatures. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2002;12:105-19.
557. Koehler K, Thevis M, Schaenzer W. Meta-analysis: effects of glycerol administration on plasma volume, haemoglobin, and haematocrit. Drug Test Anal. 2013;5:896-9.
558. Goulet ED, De La Flore A, Savoie FA, Gosselin J. Salt + glycerol-induced hyperhydration enhances fluid retention more than salt- or glycerol-induced hyperhydration. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2018;28:246-52.
559. Ross ML, Jeacocke NA, Laursen PB, Martin DT, Abbiss CR, Burke LM. Effects of lowering body temperature via hyperhydration, with and without glycerol ingestion and practical precooling on cycling time trial performance in hot and humid conditions. J Int Soc Sports Nutr. 2012;9:55.
560. Polyviou TP, Easton C, Beis L, Malkova D, Takas P, Hambly C, et al. Effects of glycerol and creatine hyperhydration on doping-relevant blood parameters. Nutrients. 2012;4:1171-86.
561. Ministerio de la Presidencia, Resolución de 30 de noviembre de 2011, de la Presidencia del Consejo Superior de Deportes, por la que se aprueba la lista de sustancias y métodos prohibidos en el deporte para el año 2012. BOE núm. 311, de 27/12/2011; I. Disposiciones generales 20277: Sec. I, p. 142606.
562. Resolución de 22 de diciembre de 2017, de la Presidencia del Consejo Superior de Deportes, por la que se aprueba la lista de sustancias y métodos prohibidos en el deporte. BOE n.º 316, de 29/12/2017. p. 129607.
563. Hilderbrand RL. Hemp & cannabidiol: what is a medicine? Mo Med. 2018;115:306-9.
564. Organización Mundial de la Salud. Cannabidiol. (Consultado el 17/5/2019.) Disponible en: https://www.who.int/features/qa/cannabidiol/es/
565. Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios. Ministerio de Sanidad, Política Social e Igualdad. Ficha técnica Sativex. 2018. Disponible en: https://www.aemps.gob.es/informa/boletines-AEMPS/boletinMensual/2010/julio/docs/informe-mensual_julio-2010.pdf
566. Directiva 2002/46/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 10 de junio de 2002, relativa a la aproximación de las legislaciones de los Estados miembros en materia de complementos alimenticios. (Consultado el 4/6/2019.) Disponible en: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32002L0046
567. Real Decreto 1487/2009, de 26 de septiembre, relativo a los complementos alimenticios. BOE núm 244, de 9/10/2009. p. 85370-8.
568. Brzezinski A. Melatonin in humans. N Engl J Med. 1997;336:186-95.
569. Escames G, Ozturk G, Baño-Otálora B, Pozo MJ, Madrid JA, Reiter RJ, et al. Exercise and melatonin in humans: reciprocal benefits. J Pineal Res. 2012;52:1-11.
570. Kumar KV, Naidu MUR. Effect of oral melatonin on exercise-induced oxidante stress in healthy subjets. Indian J Pharmacol. 2002;34:256-9.
571. Leonardo-Mendonça RC, Ocaña-Wilhelmi J, de Haro T, de Teresa-Galván C, Guerra-Hernández E, Rusanova I, et al. The benefit of a supplement with the antioxidant melatonin on redox status and muscle damage in resistance-trained athletes. Appl Physiol Nutr Metab. 2017;42:700-7.
572. Jiki Z, Lecour S, Nduhirabandi F. Cardiovascular benefits of dietary melatonin: a myth or a reality? Front Physiol. 2018;9:1-17.
573. Ayaz M, Okudan N. Effects of melatonin supplementation on exercise-induced changes in conduction velocity distributions. Meth Find Exp Clin Pharmacol. 2009;31:151-6.
574. Forbes-Robertson S, Dudley E, Vadgama P, Cook C, Drawer S, Kilduff L. Circadian disruption and remedial interventions: effects and interventions for jet lag for athletic peak performance. Sports Med. 2012;42:185-208.
575. Baird MB, Asif IM. Medications for sleep schedule adjustments in athletes. Sports Health. 2018;10:35-9.
576. Gupta L, Morgan K, Gilchrist S. Does elite sport degrade sleep quality? A systematic review. Sports Med. 2017;47:1317-33.
577. Mazepa RC, Cuevas MJ, Collado PS, González-Gallego J. Melatonin increases muscle and liver glycogen content in nonexercised and exercised rats. Life Sci. 2000;66:153-60.
578. Atkinson G, Holder A, Robertson C, Gant N, Drust B, Reilly T, et al. Effects of melatonin on the thermoregulatory responses to intermittent exercise. J Pineal Res. 2005;39:353-9.
579. McLellan TM, Gannon GA, Zamecnik J, Gil V, Brown GM. Low doses of melatonin and diurnal effects on thermoregulation and tolerance to uncompensable heat stress. J Appl Physiol (1985). 1999;87:308-16.
580. Leonardo-Mendonça RC, Martinez-Nicolas A, de Teresa Galván C, Ocaña-Wilhelmi J, Rusanova I, Guerra-Hernández E, et al. The benefits of four weeks of melatonin treatment on circadian patterns in resistance-trained athletes. Chronobiol Int. 2015;32:1125-34.
581. Beck WR, Botezelli JD, Pauli JR, Ropelle ER, Gobatto CA. Melatonin has an ergogenic effect but does not prevent inflammation and damage in exhaustive exercise. Sci Rep. 2015;5:18065.
582. Brandenberger KJ, Ingalls CP, Rupp JC, Doyle JA. Consumption of a 5-mg melatonin supplement does not affect 32.2-km cycling time trial performance. J Strength Cond Res. 2018;32:2872-7.
583. Taylor L, Chrismas BC, Dascombe B, Chamari K, Fowler PM. Sleep medication and athletic performance — the evidence for practitioners and future research directions. Front Physiol. 2016;7:83.
584. Martin T, Arnal PJ, Hoffman M, Millet G. Sleep habits and strategies of ultramarathon runners. PloS One. 2018;13:e0194705.

585. Park HK, Ahima RS. Physiology of leptin: energy homeostasis, neuroendocrine function and metabolism. Metabolism. 2015;64:24-34.

586. Dragano NV, Haddad-Tovolli R, Velloso LA. Leptin, neuroinflammation and obesity. Front Horm Res. 2017;48:84-96.

587. Benatti FB, Lancha Junior AH. Leptin and endurance exercise: implications of adiposity and insulin. Rev Bras Med Esporte. 2007;13:239-44.

588. Bouassida A, Zalleg D, Bouassida S, Zaouali M, Feki Y, Zbidi A, et al. Leptin, its implication in physical exercise and training: a short review. J Sports Sci Med. 2006;5:172-81.

589. Kraemer R, Chu H, Castracanet VD. Leptin and exercise. Exp Biol Med. 2002;227:701-8.

590. Bouassida A, Chatard JC, Chamari K, Zaouali M, Feki Y, Gharbi N, et al. Effect of energy expenditure and training status on leptin response to sub-maximal cycling. J Sports Sci Med. 2009;8:190-6.

591. Freitas MC, Ricci-Vitor AL, de Oliveira JVNS, Quizzini GH, Vanderlei LCM, Silva BSA, et al. Appetite is suppressed after full-body resistance exercise compared with split-body resistance exercise: the potential influence of lactate and autonomic modulation. J Strength Cond Res. 2019 May 27. doi: 10.1519/JSC.0000000000003192.

592. Zouhal H, Sellami M, Saeidi A, Slimani M, Abbassi-Daloii A, Khodamoradi A, et al. Effect of physical exercise and training on gastrointestinal hormones in populations with different weight statuses. Nutr Rev. 2019;77:455-77.

593. Michel BA, Stucki G, Frey D, De Vathaire F, Vignon E, Bruehlmann P, et al. Chondroitins 4 and 6 sulfate in osteoarthritis of the knee: a randomized, controlled trial. Arthritis Rheum. 2005;52:779-86.

594. Pavelka K, Gatterová J, Olejarová M, Machacek S, Giacovelli G, Rovati LC. Glucosamine sulfate use and delay of progression of knee osteoarthritis. A 3-year randomized, placebocontrolled, double-blind study. Arch Intern Med. 2002;163:2113-23.

595. Guidolin D, Pasquali Ronchetti I, Lini E, Guerra D, Frizziero L. Morphological analysis of articular cartilage biopsies from a randomized, clinical study comparing the effects of 500-730 kDa sodium hyaluronate (Hyalgan®) and methylprednisolone acetate on primary osteoarthritis of the knee. Osteoarthritis Cartilage. 2001;9:371-81.

596. Bali JP, Cousse H, Neuzil E. Biochemical basis of the pharmacologic action of chondroitin sulfates on the osteoarticular system. Semin Arthritis Rheum. 2001;31:58-68.

597. Gallagher B, Tjoumakaris FP, Harwood MI, Good RP, Ciccotti MG, Freedman KB. Chondroprotection and the prevention of osteoarthritis progression of the knee: a systematic review of treatment agents. Am J Sports Med. 2015;43:734-44.

598. Singh JA, Noorbaloochi S, MacDonald R, Maxwell LJ. Chondroitin for osteoarthritis. Cochrane Database Syst Rev 2015;(1):CD005614.

599. Honvo G, Bruyère O, Geerinck A, Veronese N, Reginster JY. Efficacy of chondroitin sulfate in patients with knee osteoarthritis: a comprehensive meta-analysis exploring inconsistencies in randomized, placebo-controlled trials. Adv Ther. 2019;36:1085-99.

600. Reginster JY, Dudler J, Blicharski T, Pavelka K. Pharmaceutical-grade chondroitin sulfate is as effective as celecoxib and superior to placebo in symptomatic knee osteoarthritis: the Chondroitin versus Celecoxib versus Placebo Trial (CONCEPT). Ann Rheum Dis. 2017;76:1537-43.

601. Bruyère O. Pharmaceutical-grade chondroitin sulfate in the management of knee osteoarthritis. Expert Opin Pharmacother. 2018;19:409-12.

602. Rojas-Briones V, Harrison-Muñoz S, Irarrázaval S. Is chondroitin sulfate effective for osteoarthritis? Medwave. 2017;17(Suppl 2):e6929.

603. Clegg DO, Reda DJ, Harris CL, Klein MA, O'Dell JR, Hooper MM, et al. Glucosamine, chondroitin sulfate, and the two in combination for painful knee osteoarthritis. N Engl J Med. 2006;354:795-808.

604. Liu X, Machado GC, Eyles JP, Ravi V, Hunter DJ. Dietary supplements for treating osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. Br J Sports Med. 2018;52:167-75.

605. Muller-Fassbender H, Bach GL, Haase W, Rovati LC, Setnikar I. Glucosamine sulfate compared to ibuprofen in osteoarthritis of the knee. Osteoarthritis Cartilage. 1994;2:61-9.

606. Bruyère O, Altman RD, Reginster JY. Efficacy and safety of glucosamine sulfate in the management of osteoarthritis: evidence from real-life setting trials and surveys. Semin Arthritis Rheum. 2016;45(4 Suppl):S12-7.

607. Naumov AV, Tkacheva ON. Use of a glycosamine sulfate for patients with osteoarthritis and a comorbidity with high risk of the side effects from NSAIDS. Ter Arkh. 2018;90:81-7.

608. Nagaoka I, Tsuruta A, Yoshimura M. Chondroprotective action of glucosamine, a chitosan monomer, on the joint health of athletes. Int J Biol Macromol. 2019;132:795-800.

609. Castell LM, Burke LM, Stear SJ, Pearce J, Borchers JR, Kaeding CC, et al. A-Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance. Part 9. Br J Sports Med. 2010;44:609-11.

610. Runhaar J, Rozendaal RM, van Middelkoop M, Bijlsma HJW, Doherty M, Dziedzic KS, et al. Subgroup analyses of the effectiveness of oral glucosamine for knee and hip osteoarthritis: a systematic review and individual patient data meta-analysis from the OA trial bank. Ann Rheum Dis. 2017;76:1862-9.

611. Setnikar I, Rovati LC. Absorption, distribution, metabolism and excretion of glucosamine sulfate. A review. Arzneimittelforschung. 2001;51:699-725.

612. Messina OD, Vidal Wilman M, Vidal Neira LF. Nutrition, osteoarthritis and cartilage metabolism. Aging Clin Exp Res. 2019;31:807-13.

613. Dadabo J, Fram J, Jayabalan P. Noninterventional therapies for the management of knee osteoarthritis. J Knee Surg. 2019;32:46-54.

614. Zhu X, Sang L, Wu D, Rong J, Jiang L. Effectiveness and safety of glucosamine and chondroitin for the treatment of osteoarthritis: a meta-analysis of randomized controlled trials. J Orthop Surg Res. 2018;13:170.

615. Jiang D, Liang J, Noble PW. Hyaluronan in tissue injury and repair. Annu Rev Cell Dev Biol. 2007;23:435-61.

616. Bowman S, Awad ME, Hamrick MW, Hunter M, Fulzele S. Recent advances in hyaluronic acid based therapy for osteoarthritis. Clin Transl Med. 2018;7:6.

617. Arslan E, Sardan Ekiz M, Eren Cimenci C, Can N, Gemci MH, Ozkan H, et al. Protective therapeutic effects of peptide nanofiber and hyaluronic acid hybrid membrane in in vivo osteoarthritis model. Acta Biomater. 2018;73:263-74.

618. Greene GW, Banquy X, Lee DW, Lowrey DD, Yu J, Israelachvili JN. Adaptive mechanically controlled lubrication mechanism found in articular joints. Proc Natl Acad Sci U S A. 2011;108:5255-9.

619. Nicholls MA, Fierlinger A, Niazi F, Bhandari M. The disease-modifying effects of hyaluronan in the osteoarthritic disease state. Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord. 2017;11:1179544117723611.

620. Johansen M, Bahrt H, Altman RD, Bartels EM, Juhl CB, Bliddal H, et al. Exploring reasons for the observed inconsistent trial reports on intra-articular injections with hyaluronic acid in the treatment of osteoarthritis: meta-regression analyses of randomized trials. Semin Arthritis Rheum. 2016;46:34-48.

621. Kaux JF, Samson A, Crielaard JM. Hyaluronic acid and tendon lesions. Muscles Ligaments Tendons J. 2016;5:264-9.

622. Osti L, Buda M, Buono AD, Osti R, Massari L. Clinical evidence in the treatment of rotator cuff tears with hyaluronic acid. Muscles Ligaments Tendons J. 2016;5:270-5.

623. Huskisson EC, Donnelly SM. Hyaluronic acid in osteoarthritis. Eur J Rheumatol Inflamm. 1995;15:1-2.

624. Kotz R, Kolarz G. Intra-articular hyaluronic acid: duration of effect and results of repeated treatment cycles. Am J Orthop (Belle Mead NJ). 1999;28(11 Suppl):5-7.

625. Bronstone A, Neary JT, Lambert TH, Dasa V. Supartz (sodium hyaluronate) for the treatment of knee osteoarthritis: a review of efficacy and safety. Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord. 2019;12:1179544119835221.

626. Li Q, Qi X, Zhang Z. Intra-articular oxygen-ozone versus hyaluronic acid in knee osteoarthritis: a meta-analysis of randomized controlled trials. Int J Surg. 2018;58:3-10.

627. Saltzman BM, Leroux T, Meyer MA, Basques BA, Chahal J, Bach BR Jr, et al. The therapeutic effect of intra-articular normal saline injections for knee osteoarthritis: a meta-analysis of evidence level 1 studies. Am J Sports Med. 2017;45:2647-53.

628. Vellini M, Desideri D, Milanese A, Omini C, Daffonchio L, Hernández A, et al. Possible involvement of eicosanoids in the pharmacological action of bromelain. Arzneimittelforschung. 1986;36:110-2.

629. Blasco Redondo R, Rubio Arias JA, Anguera Vilá A, Ayllón Sánchez A, Ramos Campo DJ, Jiménez Díaz JF. Suplementación con bromelina en el daño muscular producido durante el ejercicio físico excéntrico. Estudio Bromesport. Arch Med Deporte. 2012;150:769-83.

630. Maurer HR. Bromelain: biochemistry, pharmacology and medical use. Cell Mol Life Sci. 2001;58:1234-45.

631. Ministerio de Sanidad. Seguridad alimentaria. Nitratos. (Consultado el 19/6/2019.) Disponible en: http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/nitratos.htm

632. Bailey SJ, Winyard P, Vanhatalo A, Blackwell JR, Dimenna FJ, Wilkerson DP, et al. Dietary nitrate supplementation reduces the O2 cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. J Appl Physiol (1985). 2009;107:1144-55.

633. Jones AM, Thompson C, Wylie LJ, Vanhatalo A. Dietary nitrate and physical performance. Annu Rev Nutr. 2018;38:303-28.

634. Hoon MW, Jones AM, Johnson NA, Blackwell JR, Broad EM, Lundy B, et al. The effect of variable doses of inorganic nitrate-rich beetroot juice on simulated 2,000-m rowing performance in trained athletes. Int J Sports Physiol Perform. 2014;9:615-20.

635. Kenjale AA, Ham KL, Stabler T, Robbins JL, Johnson JL, Vanbruggen M, et al. Dietary nitrate supplementation enhances exercise performance in peripheral arterial disease. J Appl Physiol (1985). 2011;110:1582-91.

636. Larsen FJ, Schiffer TA, Borniquel S, Sahlin K, Ekblom B, Lundberg JO, et al. Dietary inorganic nitrate improves mitochondrial efficiency in humans. Cell Metab. 2011;13:149-59.

637. McMahon NF, Leveritt MD, Pavey TG. The effect of dietary nitrate supplementation on endurance exercise performance in healthy adults: a systematic review and meta-analysis. Sports Med. 2017;47:735-56.

638. Bailey SJ, Fulford J, Vanhatalo A, Winyard PG, Blackwell JR, DiMenna FJ, et al. Dietary nitrate supplementation enhances muscle contractile efficiency during knee-extensor exercise in humans. J Appl Physiol (1985). 2010;109:135-48.

639. Vanhatalo A, Bailey SJ, Blackwell JR, DiMenna FJ, Pavey TG, Wilkerson DP, et al. Acute and chronic effects of dietary nitrate supplementation on blood pressure and the physiological responses to moderate-intensity and incremental exercise. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 2010;299:R1121-31.

640. Lansley KE, Winyard PG, Fulford J, Vanhatalo A, Bailey SJ, Blackwell JR, et al. Dietary nitrate supplementation reduces the O2 cost of walking and running: a placebo-controlled study. J Appl Physiol (1985). 2011;110:591-600.

641. Wylie LJ, Bailey SJ, Kelly J, Blackwell JR, Vanhatalo A, Jones AM. Influence of beetroot juice supplementation on intermittent exercise performance. Eur J Appl Physiol. 2016;116:415-25.

642. Cermak NM, Res P, Stinkens R, Lundberg JO, Gibala MJ, van Loon LJ. No improvement in endurance performance after a single dose of beetroot juice. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2012;22:470-8.

643. Bescós R, Ferrer-Roca V, Galilea PA, Roig A, Drobnic F, Sureda A, et al. Sodium nitrate supplementation does not enhance performance of endurance athletes. Med Sci Sports Exerc. 2012;44:2400-9.

644. Bryan NS, Alexander DD, Coughlin JR, Milkowski AL, Boffetta P. Ingested nitrate and nitrite and stomach cancer risk: an updated review. Food Chem Toxicol. 2012; 50:3646-65.

645. Mirvish SS, Grandjean AC, Reimers KJ, Connelly BJ, Chen SC, Morris CR, et al. Effect of ascorbic acid dose taken with a meal on nitrosoproline excretion in subjects ingesting nitrate and proline. Nutr Cancer. 1998;31:106-10.

646. Lundberg JO, Larsen FJ, Weitzberg E. Supplementation with nitrate and nitrite salts in exercise: a word of caution. J Appl Physiol (1985). 2011;111:616-7.

647. Jones AM, Bailey SJ, Vanhatalo A, Fulford J, Gilchrist M, Benjamin N, et al. Reply to Lundberg, Larsen, and Weitzberg. J Appl Physiol (1985). 2011;111:619.

648. Scientific opinion of the Panel on Contaminants in the Food Chain. Nitrate in vegetables. (Question No EFSA-Q-2006-071). EFSA Journal. 2008;689:1-79.

649. EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Statement on possible public health risks for infants and young children from the presence of nitrates in leafy vegetables. EFSA Journal. 2010;8:1935.

650. Buchman AL, Awal M, Jenden D, Roch M, Kang SH. The effect of lecithin supplementation on plasma choline concentrations during a marathon. J Am Coll Nutr. 2000;19:768-70.

651. Buchman AL, Jenden DJ, Roch M. Plasma free, phospholipid-bound and urinary free choline all decrease during a marathon run and may be associated with impaired performance. J Am Coll Nutr. 1999;18:598-601.

652. Franceschi F, Togni S, Belcaro G, Dugall M, Luzzi R, Ledda A, et al. A novel lecithin based delivery form of boswellic acids (Casperome®) for the management of osteo-muscular pain: a registry study in young rugby players. Eur Rev Med Pharmacol Sci. 2016;20:4156-61.

653. Guo H, Saiga A, Sato M, Miyazawa I, Shibata M, Takahata Y, et al. Royal jelly supplementation improves lipoprotein metabolism in humans. J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo). 2007;53:345-8.

654. Pasupuleti VR, Sammugam L, Ramesh N, Gan SH. Honey, propolis, and royal jelly: a comprehensive review of their biological actions and health benefits. Oxid Med Cell Longev. 2017;2017:1259510.

655. Yang XY, Yang DS, Wei-Zhang, Wang JM, Li CY, Hui-Ye, et al. 10-hydroxy-2-decenoic acid from royal jelly: a potential medicine for RA. J Ethnopharmacol. 2010;128:314-21.

656. Majtan J, Kumar P, Majtan T, Walls AF, Klaudiny J. Effect of honey and its major royal jelly protein 1 on cytokine and MMP-9 mRNA transcripts in human keratinocytes. Exp Dermatol. 2010;19:e73-9.

657. Viuda-Martos M, Ruiz-Navajas Y, Fernández-López J, Pérez-Alvarez JA. Functional properties of honey, propolis, and royal jelly. J Food Sci. 2008;73:R117-24.

658. Armuzzi A, Cremonini F, Bartolozzi F, Canducci F, Candelli M, Ojetti V, et al. The effect of oral administration of lactobacillus GG on antibiotic-associated gastrointestinal side-effects during Helicobacter pylori eradication therapy. Aliment Pharmacol Ther. 2001;15:163-9.

659. Van der Bijl P. Dietary supplements containing prohibited substances: a review (Part 1). S Afr J SM. 2014;26:59-61.

660. Braun H, Koehler K, Geyer H, Kleinert J, Mester J, Schänzer W. Dietary supplement use among elite young German athletes. Int J Sport Nutr Exerc Metab. 2009;19:97-109.

661. Petroczi A, Taylor G, Naughton DP. Mission impossible? Regulatory and enforcement issues to ensure safety of dietary supplements. Food Chem Toxicol. 2011;49:393-402.

662. Suzic Lazic J, Dikic N, Radivojevic N, Mazic S, Radovanovic D, Mitrovic N, et al. Dietary supplements and medications in elite sport — polypharmacy or real need? Scand J Med Sci Sports. 2011;21:260-7.

663. Tscholl P, Alonso JM, Dollé G, Junge A, Dvorak J. The use of drugs and nutritional supplements in top-level track and field athletes. Am J Sports Med. 2010;38:133-40.

664. VI Estudio Cinfasalud: Percepción y hábitos de los corredores y corredoras españoles. Marzo 2017. (Consultado el 5/6/1996). Disponible en: http://www.femede.es/documentos/Est_Cinfa_Running_17.pdf

665. Agencia Mundial Antidopaje. Guía de referencia para el deportista sobre el Código Mundial Antidopaje 2015. (Consultado el 5/6/1996.) Disponible en: https://www.wada-ama.org/sites/default/files/resources/files/wada-reference-guide-to-2015-code-sp.pdf

666. Informed-Sport. Global Sports Supplement Testing Program. Disponible en: http://www.informed-sport.com/

667. Informed-Choice. Banned Substance Testing Service. Disponible en: http://informed-choice.org/

Relación de autores

Blasco Redondo, Raquel
Médico especialista en Medicina Interna. Responsable de la Unidad de Medicina Interna y Nutrición del Centro Regional de Medicina Deportiva de la Junta de Castilla y León. Profesora Asociada de la Facultad de Medicina de la Universidad de Valladolid, Departamento de Nutrición y Bromoterapia. Valladolid.

Contreras Fernández, Carlos
Doctor en Nutrición por la Universidad Católica de Murcia (UCAM). Profesor asociado de la Cátedra de Fisiología de la Universidad Católica de Murcia (UCAM). Dietista-Nutricionista Deportivo. Innova, Instituto de Salud y Deporte. Murcia.

De Teresa Galván, Carlos
Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Jefe de la Unidad de Medicina Funcional y del Deporte. Hospital Quirónsalud. Málaga.

Del Valle Soto, Miguel
Editor de Archivos de Medicina del Deporte. Catedrático de la Facultad de Medicina, Universidad de Oviedo. Oviedo.

Franco Bonafonte, Luis
Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Profesor Asociado, Departamento de Medicina y Cirugía (URV). Responsable de Medicina del Deporte. Hospital Universitario Sant Joan de Reus. Reus (Tarragona).

García Gabarra, Antoni
Vicepresidente de la Comisión de Economía Agroalimentaria del Colegio de Economistas de Cataluña. Barcelona.

Gaztañaga Aurrekoetxea, Teresa.
Médico Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Unidad de Medicina del Deporte Kirolbidea - Hospital de Día Quironsalud Donostia. San Sebastián (Guipúzcoa).

Manonelles Marqueta, Pedro
Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Cátedra Internacional de Medicina del Deporte de la Universidad Católica de Murcia. Murcia.

Manuz González, Begoña
Especialista en Medicina de la Educación Física y el Deporte. Centro Médico Deportivo. Torrelavega (Cantabria).

Palacios Gil de Antuñano, Nieves
Jefe de Servicio de Medicina, Endocrinología y Nutrición del Centro de Medicina del Deporte. Agencia Española de Protección de la Salud del Deportista (AEPSAD). Coordinadora del Grupo de Endocrinología y Ejercicio Físico de la SEEN. Madrid.

Villegas García, José Antonio
Académico de Número de la Real Academia de Medicina y Cirugía de Murcia. Murcia.