

LA ACTIVIDAD FÍSICA Y EL ZINC: UNA REVISIÓN

PHYSICAL ACTIVITY AND ZINC: A REVIEW

José Ignacio
 Rico Bodes

Marcos
 Pérez López

Unidad de
 Toxicología.
 Facultad de
 Veterinaria
 de la UEX

INTRODUCCIÓN

Los individuos que desean mejorar su condición física habitualmente se centran en dos aspectos fundamentales: el consumo de una dieta más adecuada, y el desarrollo de un intenso entrenamiento¹. Dentro de este ámbito, desde hace años, es patente un interés progresivo acerca de la relación sinérgica entre dieta y ejercicio para conseguir un óptimo bienestar, y en ese sentido también se incrementan los estudios acerca de los minerales, en su papel de mejoradores de la función fisiológica y de la salud². Sin embargo, se observa también entre los profesionales de la salud una impresión general: los atletas, cuando son comparados con sus congéneres menos activos físicamente, fallan en el consumo de dietas que contengan unas adecuadas cantidades de vitaminas y minerales, lo que puede acabar provocando fenómenos marginales de deficiencias, o incluso de toxicidad si el consumo es muy superior al aconsejado, y en definitiva también genera resultados físicos insuficientes tras las sesiones de entrenamiento³. A este problema final puede contribuir también la propia actividad física, a pesar de que se asocie a dietas perfectamente equilibradas y establecidas, debido a que el propio ejercicio provoca la pérdida de micronutrientes, asociada a un incremento en las actividades catabólicas y excretoras del deportista.

En este campo, conviene señalar qué son los oligoelementos o elementos traza. Se trata de minerales presentes en muy pequeña cantidad en el organismo (su etimología procede del griego, *ολιγος* = poco) pero extremadamente útiles por su implicación efectiva en las reacciones bioquímicas o físico-químicas que tienen lugar en el cuerpo humano⁴.

Algunos de los roles fisiológicos de los minerales que afectan directamente a los atletas se relacionan con la mejora del proceso de contracción muscular, el ritmo cardíaco, la conducción del impulso nervioso, el transporte de oxígeno, la salud del tejido óseo y el equilibrio ácido-base en la sangre⁵. Es cierto que pequeños estados marginales de deficiencia de algún mineral en concreto, cuando se trate de un individuo sedentario, puede que posean un escaso o casi nulo efecto, pero sin embargo estos mismos estados en un deportista profesional pueden provocar graves complicaciones (algunas de ellas se detallarán más adelante), que es necesario evaluar para prevenir correctamente⁶.

En este punto, conviene recordar la diferencia que existe entre los macrominerales y los elementos traza. Los primeros son minerales presentes en el organismo en concentraciones de aproximadamente el 0'01 % del peso corporal, mientras

CORRESPONDENCIA:

José Ignacio Rico Bodes
 Unidad de Toxicología, Facultad de Veterinaria de la UEX
 Avda de la Universidad s/n. 10071 Cáceres
 E-mail: rico_bodes@hotmail.com

Aceptado: 01.07.2010 / **Revisión n°** 227

que los oligoelementos están presentes en concentraciones situadas alrededor del 0'001% del peso corporal. Esto significa que un individuo de 70 kg de peso poseerá, en condiciones saludables, aproximadamente unos 700 mg de cada uno de estos agentes⁷, si bien en algunos casos (como por ejemplo el zinc) estas concentraciones se incrementan ligeramente.

En concreto, los oligoelementos (entre los que se encuentran agentes como el zinc, el cobre, el selenio o el hierro) no han sido objeto de estudio sistemático hasta hace unos 25 años, gracias en gran medida a la mejora de las técnicas analíticas químicas, que permitieron identificar y cuantificar elementos presentes en muy bajas concentraciones dentro de las más variadas matrices biológicas, ayudando también a una mejor comprensión de su función dentro del organismo vivo⁷. Justamente es este aspecto, el que desarrollen una función fisiológica en el organismo, el que permite considerarlos como esenciales, para lo cual, además, deberán cumplir una serie de características⁸:

- Estar invariablemente presentes en el organismo en concentraciones similares en cada individuo.
- Producir síntomas de carencia específicos, así como cambios bioquímicos definidos en los tejidos cuando el sujeto se alimenta con una dieta deficiente en dicho/s elemento/s.
- Los síntomas y los cambios asociados a dicha deficiencia pueden prevenirse o eliminarse adicionando el/los elemento/s en cuestión a la dieta experimental.

Con estas consideraciones, en el presente trabajo se ha realizado una revisión acerca de uno de los oligoelementos esenciales más importantes que existen, el zinc, desde la perspectiva de sus implicaciones en el desarrollo de una correcta actividad deportiva.

Funciones del zinc en el organismo

El zinc es un elemento esencial para el crecimiento y el desarrollo. Se encuentra en cantidades

relativamente importantes en el músculo, donde llega a constituir el 50-60 % de todo el zinc corporal⁹. También se encuentra en la próstata, la retina y el pelo, y en niveles relativamente elevados en el tejido óseo y en el sistema nervioso central (concretamente en las proximidades del hipocampo)¹⁰. Por otra parte, el zinc libre en sangre tiene una función de mantenimiento y almacenado de fácil acceso por parte del organismo, estando disponible para su rápida utilización cuando sea necesario, en función de los requerimientos existentes. En esta posición sanguínea, el 80 por 100 se encuentra ligado a los hematíes, mientras que el 12 por ciento, aproximadamente, se localiza en el plasma, principalmente unido a la albúmina¹¹.

Las funciones fisiológicas de este agente son de enorme relevancia. Actúa en más de 100 enzimas distintas, algunas de las cuales se localizan en las mitocondrias⁷. Su importancia como cofactor enzimático queda patente al indicar que se ha identificado al menos una metaloenzima con zinc en su composición en las siguientes familias enzimáticas, clasificadas de acuerdo a su función: oxidoreductasas, transferasas, hidrolasas, liasas, isomerasas y ligasas¹². Pocas son las rutas metabólicas en las cuales, en un momento u otro, no actúe el zinc como elemento esencial. Al formar parte de tal cantidad de sistemas enzimáticos, resulta implicado, por tanto, en un gran número de vías y funciones metabólicas. Como puede observarse en la Tabla 1 el zinc interviene en la replicación y diferenciación celular, en el sistema inmune, el metabolismo lipídico y glucídico, y también ayuda al normal funcionamiento de ciertos procesos hormonales. Participa en el crecimiento y la maduración sexual del individuo, y ayuda en el mantenimiento de la actividad reproductora (es, por ejemplo, un componente de primera magnitud en el esperma, y contribuye a elevar los niveles séricos de testosterona¹³). Interviene así mismo en el sentido del gusto¹⁴ y en el de la visión. Este metal tiene efectos, también, sobre el metabolismo y la fisiología de los tejidos epiteliales y conectivos, asociado a su efecto regulador de la biosíntesis de proteínas en general y del colágeno en particular (participando por ejemplo

en la regeneración y recuperación de pequeñas lesiones musculares de los deportistas)¹⁵.

Un papel de primer orden es el que posee como agente antioxidante, función que por sí misma mostraría la enorme importancia que posee este metal en los deportistas sometidos a un intenso entrenamiento físico⁷ y que ha sido demostrada recientemente¹⁶. En concreto, el zinc inhibe la formación de complejos de hierro-oxígeno con el ácido enoico, complejos que inician el peligroso fenómeno de la peroxidación lipídica. Además el zinc aumenta la concentración orgánica de dos elementos antioxidantes fundamentales: el glutatión, un tripéptido clave en la protección química del organismo, y la enzima Cu-Zn SOD (superóxido dismutasa), responsable de la eliminación del radical superóxido^{17,18}.

En resumen, la importancia de este agente en el organismo se explica, en definitiva, por tres aspectos fundamentales:

- Es un catión bivalente susceptible de interaccionar con elementos minerales como el calcio, el hierro, el cobre y el magnesio¹⁹.
- Es un estabilizador de membranas susceptible de modificar la función de las proteínas de membrana²⁰.
- Es extremadamente importante como participante en numerosas metaloenzimas, como por ejemplo la anhidrasa carbónica eritrocitaria, enzima esencial en la función respiratoria de la sangre⁴.

Teóricamente, por tanto, y de acuerdo a las múltiples funciones que posee este elemento en el organismo, la suplementación con zinc en el deportista podría mejorar el perfil hormonal anabólico, reducir el catabolismo, mejorar el estado inmunitario y/o mejorar también la adaptación y la resistencia al entrenamiento²¹, conllevando, en definitiva, una mejor respuesta a la actividad física.

Fuentes y necesidades de zinc para el ser humano

Un hombre adulto posee entre 2 y 3 gramos de zinc en su organismo, de los cuales aproximadamente un 0'1% es reemplazado diariamente²². Diversos estudios realizados acerca de la ingesta habitual por parte de deportistas ponen de manifiesto que estos pueden llegar a necesitar consumir hasta un 70% más de las cantidades recomendadas de este metal para el resto de la población. En la población normal este valor (Tabla 2) está situado en los 12 y 15 mg/día para mujeres y hombres respectivamente, elevándose en el caso de mujeres embarazadas o lactantes a 20-25 mg/día. Por su parte para niños y jóvenes menores de 10 años estos valores se sitúan en 3-5 mg y 10 mg/día, respectivamente²⁹. Para conseguir estas cantidades de zinc existen numerosos alimentos ricos en este elemento, algunos de ellos reflejados en la Tabla 3, de entre los que destacan la carne, los mariscos (muy especialmente las ostras), la leche y los productos lácteos (los quesos ocupan en este sentido un lugar destacado), el pan y los derivados de cereales tales como el germen de trigo y la avena.

TABLA 1.
Principales procesos en los que se encuentra implicado el zinc (adaptado de González Estecha, 1996)¹¹

Glucosis	Metabolismo de insulina
Síntesis de ácidos nucleicos	Contracción muscular
Metabolismo del etanol	Calcificación ósea
Formación del grupo hemo	Esteroidogénesis y lipogénesis
Hidrólisis de proteínas y grupos fosfato	Estabilización de membranas
Reducción de actividad de radicales libres	Receptores sensoriales (vista, gusto)
Crecimiento y función celular	Competencia del sistema inmune
Producción de colágeno	Integridad y motilidad espermática

Estudio, actividad física y sexo	Zinc en la dieta mg/día (% de la CDR)
Lukaski, <i>et al</i> ²³	
Fútbol, baloncesto, hockey (hombre)	16'3 ± 1'5 (109)
Control (hombre)	13'7 ± 1'7 (91)
Deuster, <i>et al</i> ²⁴	
Corredores (mujer)	10'3 ± 0'7 (86)
Control (mujer)	10'0 ± 0'7 (83)
Lukaski, <i>et al</i> ²⁵	
Nadador (mujer)	12'4 ± 0'8 (103)
Control (mujer)	9'8 ± 0'9 (82)
Nadador (hombre)	17'9 ± 1'0 (120)
Control (hombre)	15'2 ± 1'0 (100)
Worme, <i>et al</i> ²⁶	
Triatlón (hombre)	13'7 ± 0'8 (91)
Triatlón (mujer)	10'6 ± 0'8 (88)
Fogelholm, <i>et al</i> ²⁷	
Esquiador (mujer)	15'8 (132)
Control (mujer)	10'5 (88)
Esquiador (hombre)	21'9 (146)
Control (hombre)	14'1 (94)
Snook, <i>et al</i> ²⁸	
Corredor larga distancia (mujer)	8'7 ± 1'5 (73)
Corredor sprinter (mujer)	9'7 ± 0'9 (81)
Control (mujer)	8'7 ± 0'7 (73)

CDR: cantidad diaria recomendada

Alimentos	Miligramos por ración	% de la CDR*
Ostras, 6 de tamaño medio	76'7	513
Pierna de ternera, cocinada (aprox. 90 g)	8'9	59
Cangrejo cocinado (aprox. 90 g)	6'5	43
Lacón de cerdo, cocinado (aprox. 90 g)	4'2	28
Cereales de desayuno reforzados con zinc, un bol	3'8	25
Pierna de pollo, asada (1 muslo)	2'7	18
Lomo de cerdo, cocinado (aprox. 90 g)	2'5	17
Langosta y/o bogavante, cocinado (aprox. 90 g)	2'5	17
Judías cocinadas, media taza	1'7	11
Anacardos, tostados (aprox. 30 g)	1'6	11
Yogures, fruta, sin grasa, 1 copa	1'6	11
Salvado de uva, 3/4 de una copa	1'3	9
Garbanzos, media taza	1'3	9
Queso de tipo suizo (aprox. 30 g)	1'1	7
Almendras, secas y tostadas (aprox. 30 g)	1'0	7
Leche, una taza	0'9	6
Pechuga de pollo, asado (media pechuga, sin piel)	0'9	6
Queso tipo Cheddar o Mozzarella (aprox. 30 g)	0'9	6
Alubias, cocinadas, media taza	0'8	5
Copos de avena	0'8	5
Platija o lenguado, cocinado (aprox. 90 g)	0'5	3

CDR: cantidad diaria recomendada

TABLA 2.
Estimación de la captación diaria de zinc en adultos de ambos sexos sometidos a actividades deportivas (adaptado de Lukaski²³). Los valores expresados son media ± desviación estándar

TABLA 3.
Aportes medios de zinc a la dieta a partir de distintos alimentos (adaptado de la base de datos de nutrición del Departamento Norteamericano de Agricultura y la Office of Dietary Supplements, ODS30). Los alimentos que aportan más del 20% de la CDR son considerados una buena fuente de este elemento

Por otra parte, las frutas y las verduras no son una buena fuente, porque el zinc de las proteínas vegetales presenta menor biodisponibilidad en humanos que el zinc en las proteínas animales²⁹. En definitiva, las dietas bajas en proteínas y las dietas vegetarianas tienden a ser deficitarias en zinc³¹. Los vegetarianos, por tanto, pueden encontrarse en situaciones de riesgo por déficit de zinc, pero ciertas actuaciones culinarias, como por ejemplo el remojo de los cereales y legumbres en agua durante horas, o la ingesta de alimentos en los que los fitatos estén parcialmente inactivados, como es el caso de los alimentos con levadura, pueden ayudar marcadamente a evitar estas situaciones³².

Efectos asociados a una carencia o a un exceso de zinc

Cuando el ser humano no ingiere las cantidades adecuadas de zinc a través de la dieta, pueden aparecer cuadros carenciales, con un síndrome bastante inespecífico, que se caracteriza por un descenso del crecimiento, diarrea, alopecia, glositis, distrofia de las uñas, anorexia, atrofia testicular, disminución del tamaño de las glándulas sexuales accesorias y lesiones cutáneas diversas. Es posible observar una disminución de la respuesta inmunitaria, con descenso de la producción y actividad de las hormonas del timo, producción defectuosa de linfocitos e incremento de la sensibilidad al desarrollo de procesos infecto-contagiosos³³. El principal síndrome clínico a que da lugar esta deficiencia fue estudiado intensamente en adolescentes iraníes y egipcios alimentados con dietas a base de pan y judías, exentas de proteínas animales. Estos jóvenes desarrollaron un cuadro de enanismo hipogonadal, con anorexia, letargia, hepatoesplenomegalia, sequedad de la piel, anemia severa y geofagia^{11,16}.

Al analizar los efectos asociados a una deficiencia de zinc, posee una importancia enorme, y especialmente en la práctica deportiva, su acción antioxidante, ya que, como se ha comentado, el zinc contribuye a reducir la producción de radicales libres, radicales que la propia actividad deportiva (entrenamiento) produce en el organismo del atleta¹⁵.

Por lo que respecta a la toxicidad (asociada a una ingesta voluntaria o accidental de grandes cantidades de zinc), destaca en primer lugar que este oligoelemento es antagonista del cobre, por lo cual una persona con elevados niveles de zinc estará expuesta a presentar valores muy bajos de cobre. De forma similar, el zinc compite con la absorción de otros elementos esenciales, como el hierro, el magnesio y el calcio. Los síntomas de una intoxicación aguda por sales de zinc (por ejemplo, tras una excesiva suplementación deportiva) incluyen dolor abdominal intenso, náuseas y vómitos. También se presenta letargia, anemia y vértigos. Los síntomas asociados al descenso del cobre, por su parte, son anemia, leucopenia y neutropenia, descenso de la actividad de las enzimas superóxido dismutasa, ceruloplasmina y citocromo oxidasa, incremento de los niveles plasmáticos de colesterol, descenso de la metionina, alteraciones en la función cardíaca y en la función de las enzimas pancreáticas lipasa y amilasa³⁴. Diversos estudios han demostrado que el empleo de un suplemento de zinc a concentraciones situadas entre 15 y 100 mg/día, puede llegar a desencadenar estas reacciones adversas, con problemas similares a los observados en casos de sobredosificaciones farmacológicas por zinc³⁵.

Importancia del zinc en la actividad física

El deportista que practica un ejercicio intenso y regular necesita un incremento en la ingesta de alimentos, para poder así equilibrar las demandas extra de energía, pues sin esta adaptación ninguna actividad física podría ser mantenida durante mucho tiempo⁶.

El interés acerca de los posibles efectos adversos de la actividad física sobre los niveles de zinc se remonta a los estudios de Dressendorfer y Sokolov³⁶, al observar que los atletas masculinos (corredores) poseían, en general, unos niveles más bajos de zinc que hombres de edades similares pero que no participaban de este ejercicio crónico. Además, estos valores de zinc estaban inversamente relacionados con la distancia media recorrida. Hoy en día se sabe que el ejercicio modifica de una forma aguda las concentracio-

nes circulantes de zinc, afectando a su cinética. Un estudio desarrollado en los años 70 del siglo XX mostraba que los niveles plasmáticos de zinc en hombres que participaban en una carrera de esquí de fondo de 70 Km eran un 19% superiores inmediatamente después de la carrera, comparados con los valores previos, pero regresaban a los valores “normales” tan solo 24 horas después, seguramente debido al incremento de la excreción urinaria del elemento, junto con su redistribución desde el plasma al hígado³⁷. Por otra parte, la magnitud de este incremento plasmático no podía ser atribuida a una simple hemoconcentración².

Sin embargo, a pesar de lo expuesto hasta ahora, existen pocos datos que puedan indicar claramente que el status de zinc corporal pueda afectar al rendimiento deportivo, y además los resultados, en función de las fuentes consultadas, varían sustancialmente. Por ejemplo, un complejo estudio científico permitió observar que la fuerza y la resistencia muscular de mujeres de edad media suplementadas con zinc (a razón de 135 mg/día) se incrementaba de forma notable³⁸. Estos autores sugerían que la suplementación con zinc podría ser beneficiosa para mejorar el rendimiento de las fibras musculares de contracción rápida, avalando el empleo del oligoelemento. Sin embargo, el no haber medido previamente los niveles de zinc de los participantes impedía saber si el aporte de zinc ejercía un efecto farmacológico o de suplementación, complicando cualquier interpretación posterior.

Por otra parte, Rodríguez Tuya y colaboradores³⁹ cuantificaron unos niveles plasmáticos de zinc menores en los deportistas aeróbicos (ciclismo y resistencia) frente a los anaeróbicos (judo y esgrima), debido a una menor movilización del zinc como resultado de un descenso del metabolismo energético y de las funciones antioxidantes. Sin embargo, un estudio posterior, llevado a cabo con 16 mujeres karatekas y 23 corredoras de media y larga distancia, mostró que entre ellas no había diferencias marcadamente destacables en las concentraciones séricas de zinc, mientras que en otro grupo de mujeres jugadoras de baloncesto, los niveles eran mucho menores⁴⁰.

En definitiva, la observación conjunta de todos estos resultados muestra que queda mucho por investigar para entender correctamente el papel del zinc en el ejercicio físico. Esta es la línea desarrollada por nuevas investigaciones, como por ejemplo la centrada en un estudio comparativo entre luchadores y hombres sedentarios, que analiza los efectos de una suplementación de zinc en sus defensas antioxidantes⁴¹. Los resultados mostraron que al final del período de estudio, la suplementación con zinc había ayudado a prevenir la formación de radicales libres al activar el sistema antioxidante, concluyendo que dicha suplementación, dentro de unas concentraciones adecuadas, podría mejorar la salud y el rendimiento.

También merece destacarse el efecto que un inicio precoz de ciertas actividades deportivas puede poseer en este balance mineral, lo que ha obligado a prestar atención a los niños y adolescentes implicados en las mismas, ya que a los requerimientos derivados de este ejercicio se suman los del proceso del crecimiento y desarrollo orgánico⁴². Un estudio desarrollado con niños nadadores frente a sedentarios permitió comprobar que los niveles séricos de zinc eran significativamente menores en los niños deportistas frente a niños en edades similares no deportistas, mostrando en este caso la importancia capital del control de este oligoelemento en este grupo de edad, por sus implicaciones en el crecimiento⁴².

Un trabajo desarrollado en 2001 permitió comprobar que la adopción por parte del atleta de una dieta rica en carbohidratos pero pobre en proteínas y grasas podía conducir fácilmente a un déficit de zinc, e incluso a una verdadera carencia de este mineral, con la consabida pérdida de peso, fatiga latente y pérdida de la condición física⁴³.

En definitiva, a pesar de que resulte todavía bastante complicado conocer las implicaciones de este metal en los cambios fisiológicos que se asocian a la actividad física, un buen balance de este y otros minerales resulta, obviamente, fundamental. Este hecho es particularmente im-

portante al recordar que el ejercicio crea frecuentemente necesidades adicionales, dependientes de la naturaleza, intensidad y duración de este, de los períodos de entrenamiento, de la edad y del sexo de los individuos⁴⁴. Las posibilidades de dietas deficitarias en zinc en los deportistas son un hecho real (asociado por ejemplo a una mayor transpiración o a una dieta inadecuada), por lo cual, más allá de implicaciones reales o hipotéticas, un buen equilibrio en los niveles de zinc corporal ayudará, sin lugar a dudas, a un mejor desarrollo de la actividad deportiva. Una ingesta adecuada de este elemento debe ser un requerimiento esencial en el entrenamiento, a fin de evitar tanto fenómenos de déficit como de toxicidad asociados al zinc.

Para finalizar este trabajo es necesario recoger las anotaciones realizadas por reconocidos especialistas a nivel mundial^{2,45}, que consideran que el inadecuado diseño de ciertos estudios (algunos de ellos recogidos en la presente revisión), aunque de enorme interés, impide establecer claras recomendaciones con respecto a la suplementación de zinc en los atletas. Como ha quedado patente en este trabajo y en otros previos, este debe ser un objetivo, o al menos una medida a revisar, en el campo de la nutrición deportiva.

RESUMEN

El zinc es un elemento mineral ampliamente distribuido por todas las células y tejidos del organismo humano, necesario en pequeñas cantidades para mantener la salud y las óptimas condiciones fisiológicas, al poseer numerosas funciones. Los niveles de este mineral necesarios para las personas con una práctica deportiva ocasional se suelen alcanzar sin mayores problemas con una dieta sana y equilibrada. En las

personas con una intensa actividad física, este oligoelemento debe ser aportado en cantidades adecuadas, para evitar estados carenciales. Este hecho se asocia a que el ejercicio crónico causa una reducción de los niveles séricos de zinc, reflejando un agotamiento de las reservas corporales de este elemento, lo que potencialmente irá acompañado de un descenso de la forma física. En el presente trabajo se hace un repaso sobre las funciones del zinc en el ser humano, las fuentes de incorporación a través de la dieta, los efectos asociados a su exceso o defecto, y la relación directa de este metal con el desarrollo de la actividad deportiva.

Palabras clave: Mineral. Zinc. Nutrición. Deporte.

SUMMARY

Zinc is a mineral distributed all along the human cell and tissues, required in modest amounts to maintain health and optimal physiologic function, as it possesses a broad spectrum of functions. The body concentrations for this mineral in people with only occasional physical activity are easily reached if a healthy and equilibrated diet is associated. For physically active persons, adequate amounts of this element are needed in the diet, to avoid deficiency situations. The chronic effect of exercise is the reduction of serum zinc, reflecting depletion in the body's zinc stores with a potential parallel decrease in fitness. At the present work, the different functions of zinc into the human being, its dietary sources, the effects associated to an excess or defect, and the direct relationship of this metal with the sport activity are analyzed.

Key words: Mineral. Zinc. Nutrition. Sport.

B I B L I O G R A F Í A

1. **NRC (National Research Council).** Diet and Health: implications for reducing chronic disease risk. Washington DC. National Academy Press, 1989;665-710.
2. **Lukaski HC.** Magnesium, zinc, and chromium nutriture and physical activity. *Am J Clin Nutr* 2000;58:5S-593S.
3. **Lukaski HC.** Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition* 2004;20:632-644.
4. **Khaled S, Brun JF, Bardet L and Cassanas G.** Importance physiologique du zinc dans l'activité physique. *Sci Sport* 1997;12:179-191.
5. **Williams MH.** Dietary supplements and sports performance: minerals zinc, and exercise. En: Brounns F, Saris W, Newsholme E. (eds). *Advances in Nutrition and Top Sport*. Basel Karger. *Med Sports Sci* 1991;32:38-58.
10. **Tubek S.** Zinc supplementation or regulation of its homeostasis: advantages and tretsas. *Biol Trace Elem Res* 2007;119:1-9.
11. **González Estechea MM.** Elementos traza en biopatología y neuropsicología. Ed. Fundación Mapfre Medicina, 1996. Madrid.
12. **Requejo Marcos.** Zinc y cobalto. En: Salido Ruíz GM. *Curso de elementos traza*. Badajoz. Ed. Servicio Publicaciones Universidad de Extremadura; 1993;63-76.
13. **Brilla LR and Conte V.** Effects of a novel zinc-magnesium formulation on hormones and strength. *J Exerc Physiol* 2000;3(4):26-36.
14. **Boukaïba N, Flament C, Acher S, Chappuis P, Piau A, Fusselier M, Dardenne M and Lemonnier D.** A physiological amount of zinc supplementation: effect on nutritional, lipid, and thymic status in an elderly population. *Am J Clin Nutr* 1991;57:566-572.
15. **Pérez Cantero A.** Zinc y rendimiento deportivo. *EFDdeporte* (2007).
16. **Prasad AN.** Clinical, immunological, anti-inflammatory and antioxidant roles of zinc. *Exp Gerontol* 2008;43:370-377.
17. **Calvo JR, Reiter RJ, García JJ, Ortiz GG, Tan DX and Karbownik M.** Characterization of the protective effects of melatonin and related indoles against α -naphthylisothiocyanate-induced liver injury in rats". *J Cell Biochem* 2001; 428: 269-275.
18. **Cooper RA.** Abnormalities of cell-membrane fluidity in the pathogenesis of disease. *New Engl J Med* 1977;297:371-377.
19. **Kandel ER and Schwartz J.** Directly gated transmission at central synapses. En: Kandel ER, Schwartz J, Jessell TM. *Principles of neural sciences*. New York: Elsevier, 1991;153-172.
20. **Chvapil M.** Effect of zinc on biomembranes. *Med Clin North Am* 1976;57:376-377.
21. **Wilborn CD, Kerksick CM, Campbell BI, Taylor LW, Marcello BM, Rasmussen CJ, Greenwood MC, Almada A and Kreider RB.** Effects of zinc magnesium aspartate (ZMA) supplementation on training adaptations and markers of anabolism and catabolism. *J Int Soc Sports Nutr.* 2004; 1(2):12-20.
22. **Maret W and Sandstead HH.** Zinc requirements and the risks and benefits of zinc supplementation. *J Trace Elem Med Biol* 2006;20(1):3-18.
23. **Lukaski HC, Bolonchuk WW, Klevay LM, Milne DB and Sandstead HH.** Maximal oxygen consumption as related to magnesium, copper, and zinc nutriture. *Am J Clin Nutr* 1983;37:407-415.
24. **Deuster PA, Day BA, Singh A, Douglass L and Moser-Veillon PB.** Zinc status of highly trained women runners and untrained women. *Am J Clin Nutr* 1989;49:1295-1301.
25. **Lukaski HC, Hoverson BS, Gallagher SK and Bolonchuk WW.** Physical training and copper, iron and zinc status of swimmers. *Am J Clin Nutr* 1990;51:1093-1099.
26. **Worme JD, Doubt TJ, Singh A, Ryan CJ, Moses FM and Deuster PA.** Dietary patterns, gastrointestinal complaints, and nutrition knowledge of recreational triathletes. *Am J Clin Nutr* 1990; 51:690-697.
27. **Fogelholm M, Rehunen S, Gref CG, Laakso JT, Lehto J, Ruukonen I and Himberg JJ.** Dietary intake and thiamine, iron and zinc status in elite Nordic skiers athletes. *Nutr Res* 1992;11:1111-1118.
28. **Snook JT, Cummin D, Good PR and Grayzar J.** Mineral and energy status of groups of male and

- female athletes participating in events believed to result in adverse nutritional status. En: Kies CV, Driskell JA. Sports nutrition: mineral and electrolytes. Boca Raton: CRC Press, 1995;293-304.
29. **Cordova A and Alvarez-Mon M.** Behaviour of zinc in physical exercise: a special reference to immunity and fatigue. *Neurosci Biobehav Rev* 1995;19(3):439-445.
 30. **Office of Dietary Supplements (ODS):** <http://ods.od.nih.gov/factsheets/Zinc.asp#h3>
 31. **Hamrick I and Counts SH.** Vitamin and mineral supplements. *Prim Care: Clin Office Pract* 2008;35(4):729-747.
 32. **ADA (American Dietetic Association) Dietitians of Canada.** Position of the American Dietetic Association and Dietitians of Canada: vegetarian diets. *J Am Diet Assoc* 2001;103:748-765.
 33. **Saper RB and Rash R.** Zinc: an essential micro-nutrient. *Am Fam Physician* 2009;79(9):768-772.
 34. **EGVM (Expert Group on Vitamins and Minerals).** Risk assessment: Zinc (hoja informativa) 2003.
 35. **Fosmire GJ.** Zinc toxicity. *Am J Clin Nutr* 1990;51:225-227.
 36. **Dressendorfer RA and Sockolov R.** Hypozincemia in runners. *Phys Sports Med* 1980;8:97-100.
 37. **Hetland O, Brubak EA, Refsum HE and Stromme SB.** Serum and erythrocyte zinc concentrations after prolonged heavy exercise. En: Howald H, Poortmans JR. Metabolic adaptation to prolonged physical exercise. Proceedings of the 2nd International Symposium on Biochemistry of Exercise. Basel, Switzerland: Birkhauser Verlag, 1973;367-370.
 38. **Krotkiewski M, Gudmundsson P, Backstrom P and Mandroukas K.** Zinc and muscle strength and endurance. *Acta Physiol Scand* 1982;116:309-311.
 39. **Rodríguez Tuya I, Pinilla Gil E, Maynar Marino M, García-Monco Carra RM and Sánchez Misiego A.** Evaluation of the influence of physical activity on the plasma concentrations of several trace metals. *Eur J Appl Physiol* 1996;73:299-303.
 40. **Nuviala RJ, Lapieza MG and Bernal E.** Magnesium, zinc and copper status in women involved in different sports. *Int J Sport Nutr* 1999;9:292-309.
 41. **Kara E, Gunay M, Cicioglu I, Ozal M, Kilic M, Mogulkoc R and Baltaci AK.** Effect of zinc supplementation on antioxidant activity in young wrestler s. *Biol Trace Elem Res* 2010;134(1):55-63
 42. **Nuviala Mateo RJ, Lapieza Lainez MG, Elósegui Alberdi LM, Bonet Juliani B, Escanero Marcen JF and Giner Soria A.** Efectos del entrenamiento sobre los niveles de macro y micronutrientes en nadadores infantiles. *Arch Med Depor* 1991;30:135-139.
 43. **Micheletti A, Rossi R and Rufini S.** Zinc status in athletes: relation to diet and exercise. *Sports Med* 2001;31:577-582.
 44. **Speich M, Pineau A and Ballereau F.** Minerals, trace elements and related biological variables in athletes during physical activity. *Clin Chim Acta* 2001;312:1-11.
 45. **Lukaski HC.** Magnesium, zinc, and chromium nutriture and athletic performance. *Can J Appl Physiol* 2001;26:S13-S22.