



Original

Influencia de la actividad física sobre la eliminación urinaria de minerales y elementos traza en sujetos que viven en la misma área geográfica



D. Muñoz*, F. Llerena, F.J. Grijota, M.C. Robles, F.J. Alves y M. Maynar

Departamento de Fisiología, Universidad de Extremadura, Cáceres, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

Recibido el 6 de julio de 2016

Aceptado el 14 de julio de 2016

On-line el 1 de octubre de 2016

Palabras clave:

Macroelementos

Metales

Ejercicio físico

Orina

Atletas

R E S U M E N

Objetivo: El objetivo de este estudio fue conocer las concentraciones de los macroelementos magnesio y fósforo, y de los elementos traza arsénico, boro, litio, cesio, rubidio, estaño y estroncio, en orina de sujetos sedentarios y deportistas, que viven en la misma región.

Método: Se analizó la concentración urinaria de los metales descritos antes. La muestra estaba constituida por un grupo de 21 atletas de fondo y un grupo control formado por 26 sujetos sedentarios. Se registraron medidas antropométricas, la frecuencia cardíaca y la presión arterial en reposo. Fueron sometidos a una prueba de esfuerzo para determinar la frecuencia cardíaca máxima, el consumo máximo de oxígeno, la ventilación pulmonar y el cociente respiratorio. Se tomaron muestras de la primera orina de la mañana de todos los sujetos.

Resultados: Los atletas presentaron valores significativamente inferiores ($p < 0.001$) en índice de masa corporal, grasa corporal ($p < 0.001$) y frecuencia cardíaca de reposo ($p < 0.001$). La frecuencia cardíaca máxima, el consumo máximo de oxígeno ($p < 0.001$) y la ventilación pulmonar ($p < 0.05$) fueron mayores en el grupo de atletas respecto al grupo control. No existieron diferencias significativas en las concentraciones urinarias de fósforo, arsénico, boro, litio, rubidio y estroncio. Las concentraciones urinarias de magnesio ($p < 0.001$) y estaño ($p < 0.05$) fueron menores en los atletas que en el grupo control. Además, las concentraciones urinarias de cesio ($p < 0.05$) eran mayores en deportistas respecto al grupo control.

Conclusiones: Las concentraciones de los elementos analizados se encuentran en rangos normales, no existiendo, por tanto, riesgo para la salud. La realización de entrenamiento sistemático provoca una menor eliminación de magnesio y estaño y mayor de cesio, que evitaría la toxicidad por su acumulación, no perjudicando su rendimiento.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Influence of physical activity on urinary excretion of minerals and trace elements in subjects who live in the same geographic area

A B S T R A C T

Objective: The aim of this study was to determine the concentrations of macroelements magnesium and phosphorus, and the trace elements arsenic, boron, lithium, cesium, rubidium, tin and strontium in urine of sedentary subjects and long distance athletes, who live in the same area.

Method: It was evaluated the urinary concentration of the metals mentioned before. The sample consisted of a group of 21 long-distance athletes. Twenty-six sedentary subjects formed the control group. The procedure consisted of recording anthropometric measurements, heart rate and blood pressure at rest. Then a stress test was performed to determine the maximum heart rate, maximum oxygen consumption, pulmonary ventilation and respiratory exchange ratio. Samples of the first morning urine of all subjects were obtained.

Keywords:

Macroelements

Metals

Exercise

Urine

Athletes

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: diegomun@unex.es (D. Muñoz).

Results: Athletes had significantly lower levels ($P < .001$) of body mass index, body fat ($P < .001$) and resting heart rate ($P < .001$). Maximum heart rate and maximum oxygen consumption ($P < .001$) and pulmonary ventilation ($P < .05$) were higher in the group of athletes. No differences were observed in urinary concentrations of phosphorus, arsenic, boron, lithium, rubidium and strontium. Urinary concentrations of magnesium ($P < .001$) and tin ($P < .05$) were lower in athletes than the control group. However, urinary concentrations of cesium ($P < .05$) were higher in athletes compared to the control group.

Conclusions: Mineral concentrations analyzed are in normal values, so there is no risk to health. Training induces a less urinary excretion for magnesium and tin and an increase in cesium excretion, avoiding the toxicity because of cesium accumulation, without a performance decrease.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Influencia da atividade física sobre a excreção urinária de minerais e oligoelementos em sujeitos que vivem em mesma área geográfica

R E S U M O

Palavras-chave:
Macroelementos
Metais
Exercício físico
Urina
Atleta

Objetivo: O objetivo deste estudo foi determinar as concentrações do macroelementos magnésio e fósforo, e oligoelementos arsênio, boro, lítio, céσιο, rubídío, estanho e estrôncio de urina indivíduos sedentários e atletas que vivem na mesma região.

Método: Foi avaliada a concentração urinária dos metais acima mencionados. A amostra foi constituída por um grupo de 21 atletas de fundo e um grupo de 26 indivíduos sedentários para grupo controle. Medidas antropométricas, frequência cardíaca e pressão arterial de repouso foram registrados. Eles foram submetidos a um teste de estresse para determinar frequência cardíaca máxima, o consumo máximo de oxigênio, ventilação pulmonar e quociente respiratório. Foram coletados as amostras da primeira urina da manhã de todas os sujeitos.

Resultados: Atletas tiveram valores significativamente menores ($p < 0.001$) no índice de massa corporal, gordura corporal ($p < 0.001$) e frequência cardíaca em repouso ($p < 0.001$). A frequência cardíaca máxima, o consumo máximo de oxigênio ($p < 0.001$) e ventilação pulmonar ($p < 0.05$) foram maiores no grupo de atletas no grupo de controle. Não houve diferenças significativas em concentrações urinárias de fósforo, arsênio, boro, lítio, rubídío e estrôncio. As concentrações urinárias de magnésio ($p < 0.001$) e estanho ($p < 0.05$) foram mais baixas nos atletas do que no grupo de controle. Além disso, as concentrações urinárias de céσιο ($p < 0.05$) foram maiores em atletas em comparação com o grupo de controle.

Conclusões: As concentrações dos elementos analisados se encontram em intervalos normais, portanto, não há risco para a saúde. A realização de treinamentos sistemáticos provoca uma menor excreção de magnésio, estanho e céσιο que evita maior toxicidade por acumulo, não prejudicando o desempenho.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

En los últimos años, los avances en la evaluación biomédica de los atletas ha hecho que los científicos consideren nuevos factores que pueden ser modificados por la actividad física intensa, y que puedan influir de manera importante en el rendimiento de los deportistas¹. Un creciente énfasis se ha puesto en el papel de los metales macro y traza en la salud humana y la enfermedad².

Así, el magnesio (Mg) es un cofactor en más de 300 reacciones enzimáticas en las que se metabolizan los alimentos y se forman nuevos productos químicos³. Está también involucrado en la producción de energía celular y la degradación del glucógeno. Las pruebas acumuladas han mostrado una relación directa entre el Mg y el rendimiento deportivo. Algunos estudios han informado que la concentración en suero o plasma se redujo después del ejercicio⁴⁻⁶. En general, a largo plazo, ejercicios de alta intensidad, como senderismo o natación, dieron como resultado una disminución en los niveles de Mg.

El fósforo (P) juega un importante papel en el metabolismo de los hidratos de carbono, contribuyendo a la absorción intestinal de la glucosa mediante el proceso de la fosforilación. Estimula la reabsorción tubular renal de la glucosa por el mismo sistema y se une a los lípidos para formar fosfolípidos que forman parte de las membranas celulares. El P orgánico forma parte de un compuesto de los glóbulos rojos conocido como 2,3-difosfoglicerato, que facilita la liberación

de oxígeno desde los eritrocitos a las células musculares⁷. El P es básico en la formación de moléculas fundamentales para la producción de energía, como el adenosín trifosfato, el creatinfosfato y el ácido fosfoenolpirúvico.

El arsénico (As) está presente en los tejidos humanos en un rango que oscila de los 10 a los 500 $\mu\text{g}/\text{kg}^{-1}$, encontrándose en menores concentraciones en el corazón y mayores en el hígado⁸. El As es conocido por ser tóxico para el hombre⁹. La concentración en orina es un buen indicador sobre la exposición al mismo¹⁰. Varios compuestos de As pueden interferir con la actividad de diversas enzimas, especialmente aquellas con grupos sulfidrilos. Así, puede estar involucrada en el ciclo de Krebs¹¹. La toxicidad por As procedente de los alimentos y del agua ingeridos puede desencadenar varios problemas de salud, tales como mutaciones, carcinogénesis y efectos teratogénicos que pueden desencadenar varias disfunciones orgánicas^{12,13}.

El contenido de boro (B) en los tejidos humanos varía entre los < 0.2 y < 0.5 mg/kg^{-1} ; sus concentraciones más elevadas se encuentran en los riñones y el hígado, y las más bajas, en la piel⁸. Penland planteó que el B puede jugar un papel en la función de la membrana celular, el metabolismo mineral y hormonal y las reacciones enzimáticas¹⁴. Nielsen¹⁵ indicó que el B es requerido y beneficioso para los animales y los humanos en relación con el desarrollo embrionario, el crecimiento óseo y la calcificación, la función inmune, las habilidades psicomotoras y la función cognitiva.

El cesio (Cs) está presente en los tejidos humanos en un rango que oscila de 0.01 a los 0.05 mg/kg⁻¹, encontrándose sus concentraciones más elevadas en el hígado y el corazón⁸.

El litio (Li) se encuentra en los tejidos humanos en un rango de <0.02 a 0.08 mg/kg⁻¹, estando más concentrado en la piel⁸. Estudios clínicos evidencian que el Li causa desensibilización de los receptores α -2, mostrando que su principal lugar de acción se centra en los mecanismos de comunicación intercelular. Así mismo, ejerce una inhibición directa de la adenilato ciclasa, y altera procesos mediados por el adenosín monofosfato cíclico y mecanismos de transporte iónico¹¹.

El rubidio (Rb) está presente en los tejidos humanos en un rango entre 8 y 30 mg/kg⁻¹, con un valor más bajo en la piel y el más alto en el hígado⁸. Existen algunas evidencias de que el Rb está involucrado en funciones cerebrales, pero no se han encontrado, hasta el momento, funciones específicas¹⁶.

Los tejidos humanos contienen estaño (Sn) en un rango de <0.2-0.85 mg/kg⁻¹, estando las concentraciones más bajas en el cerebro y las más elevadas en el hígado y los riñones⁸. Altas concentraciones de Sn en las comidas pueden causar irritación gástrica, afectar a la reproducción y disminuir la fuerza muscular¹⁷.

Por su parte, el estroncio (Sr) está presente en los tejidos humanos en unas concentraciones que van de 0.09 a 0.24 mg/kg⁻¹, siendo su concentración más elevada en los riñones y la más baja en el cerebro⁸. Las funciones bioquímicas no son bien conocidas, pero D'Haese et al.¹⁸ han indicado que son necesarias pequeñas cantidades de Sr para un apropiado proceso de calcificación de huesos y dientes.

Por todo lo anterior, el objetivo del presente estudio fue conocer las concentraciones de los macroelementos Mg y P, y de los elementos traza As, B, Li, Rb, Sn y Sr en orina de sujetos sedentarios y atletas de alto nivel deportivo, en modalidades de fondo, que viven en Extremadura (España).

Método

Sujetos

Veintinueve atletas varones de larga y media distancia de categoría nacional fueron seleccionados antes de iniciar su periodo anual de entrenamiento. Seguían un programa de entrenamiento sistemático con una media anual de 120 km por semana. El grupo control estaba formado por 26 estudiantes varones que no realizaban ejercicio físico de forma regular. Los dos grupos vivían en la misma área geográfica (Extremadura, España).

Todos los participantes fueron informados del propósito del estudio y dieron su consentimiento para participar en el mismo, cumpliendo con las normas éticas de la Declaración de Helsinki. Todos ellos completaron un cuestionario en relación con sus hábitos nutricionales con el fin de asegurar que no ingerían ninguna vitamina ni mineral u otras suplementaciones, que garantizara que llevaban dietas similares (se preguntó el tipo y la frecuencia con que se ingerían los alimentos).

Procedimiento

Las medidas antropométricas fueron realizadas por el mismo operador, especialista en las técnicas cineantropométricas, siguiendo las recomendaciones del Grupo Español de Cineantropometría¹⁹. Todas las medidas se realizaron por la mañana y siempre a la misma hora. La altura del cuerpo se midió con una precisión de 0.1 cm utilizando un estadiómetro montado en la pared (Seca 220), y el peso corporal se midió utilizando una báscula electrónica (Seca 769). El índice de masa corporal se calculó dividiendo el peso en kg por la altura en metros al cuadrado.

La frecuencia cardíaca en reposo y la presión arterial fueron determinadas usando un esfigmógrafo automático (Omron HEM-780) después de un periodo de cinco minutos en reposo en la posición de decúbito supino.

Los sujetos fueron sometidos a una prueba de esfuerzo incremental máxima hasta la extenuación voluntaria sobre tapiz rodante (marca PowerJog) para establecer diferencias entre ambos grupos, en la que se determinó el consumo máximo de oxígeno, la ventilación pulmonar, el cociente respiratorio y la frecuencia cardíaca máxima. Los sujetos realizaron un calentamiento de diez minutos de carrera continua a 8 km/h, comenzando la prueba a 10 km/h. La velocidad se iba incrementando progresivamente en 1 km/h cada dos minutos, hasta el momento en el que los participantes no podían mantener la velocidad requerida. La respuesta fisiológica en parámetros ergoespirométricos era controlada mediante un analizador de gases (MGC, modelo n.º 762014-102) y un pulsómetro (Polar Vantage NVTM). Los datos obtenidos fueron analizados con el software Polar Precision Performance de Polar tras la transmisión de los datos con el interfaz (Polar Advantage Interface, Kempele, Finlandia), propio de la marca finlandesa.

Se tomó la primera orina de la mañana, que fue depositada en tubos de 10 mL, previamente lavados con ácido nítrico diluido, y congelados a -20 °C hasta el análisis. Antes de este, las muestras se descongelaron y se homogeneizaron por agitación.

Los elementos Mg, P, As, B, Cs, Li, Rb, Sn y Sr se analizaron por ICP-MS de acuerdo con el tratamiento hecho en muestras de sangre por Sarmiento-González et al.²⁰. La descomposición de la matriz orgánica se realizó calentándola 10 h a 90 °C tras la adición de 0.8 mL de NO₃H y 0.4 mL de H₂O₂ a 2 mL de orina. Después, las muestras se secaron en un termo bloque a 200 °C. La reconstitución de las muestras se realizó añadiéndole 0.5 mL de ácido nítrico, 10 μ L de In (10 mg/L) como patrón interno y agua destilada suprapura hasta 10 mL. Los blancos de reactivos, los patrones de elementos y el material de referencia certificado (SeronormTM, lote 0511545, Billingstad, Noruega) se prepararon de la misma manera y se usaron para las pruebas de precisión. Antes del análisis, los materiales de control se diluyeron de acuerdo con la recomendación del fabricante. Las soluciones digeridas se analizaron por ICP-MS en un ELAN[®] 9000 (Perkin Elmer, Waltham, MA, EE. UU.).

La creatinina se midió en todas las muestras de orina para tener en cuenta la posible dilución de las muestras²¹, mediante el kit de creatinina de Sigma (555-A) usando un espectrofotómetro UNICAM 5625.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó con el programa SPSS[®] 19.0. Los resultados se expresaron como media \pm desviación estándar. La normalidad de la distribución de las variables se comprobó mediante el test de Shapiro-Wilks. Para comprobar la significación de las diferencias en la concentración urinaria de los elementos estudiados entre el grupo control y los atletas se usó el test t-Student. Un valor de $p < 0.05$ se consideró estadísticamente significativo.

Resultados

Hábitos dietéticos

Los hábitos dietéticos fueron similares en ambos grupos. Ninguno de los participantes seguía ninguna dieta especial. Declararon una ingesta similar de leche, pescado, carne, frutas y verduras.

Tabla 1
Características antropométricas, cardiovasculares y ergoespirométricas de los grupos del estudio

	Control (n=26)	Atletas (n=21)
Edad (años)	22.65 ± 3.65	21.62 ± 4.27
Altura (m)	1.77 ± 0.05	1.75 ± 0.06
Peso (kg)	76.94 ± 11.07	64.68 ± 7.25**
IMC (kg/m ²)	21.81 ± 3.14	18.25 ± 1.73**
Suma 6 pliegues (mm)	85.33 ± 31.74	47.57 ± 10.68**
% muscular	45.04 ± 3.24	49.19 ± 1.46
% óseo	16.5 ± 3.37	18.4 ± 1.47
% grasa	14.27 ± 3.45	8.4 ± 1.11**
PAS (mmHg)	125.36 ± 8.65	124.71 ± 6.90
PAD (mmHg)	84.64 ± 6.64	80.62 ± 6.77
FC reposo (ppm)	72.79 ± 14.72	53.76 ± 11.91**
FCmáx (ppm)	190.34 ± 8.65	192.71 ± 7.61
VO ₂ máx (mL/kg/min)	43.93 ± 7.28	66.95 ± 9.70**
VE (L/min)	102.89 ± 11.77	136.04 ± 22.58*
RER	1.08 ± 0.25	1.04 ± 0.04*

FC: frecuencia cardíaca; FCmáx: frecuencia cardíaca máxima; IMC: índice de masa corporal; PAD: presión arterial diastólica; PAS: presión arterial sistólica; RER: cociente respiratorio; VE: ventilación pulmonar; VO₂máx: consumo máximo de oxígeno.

Test t-Student. Datos expresados como media ± desviación estándar.

* $p < 0.05$.

** $p < 0.001$ en comparación grupo control vs. atletas.

Características antropométricas, cardiovasculares y ergoespirométricas

La **tabla 1** describe los datos antropométricos y cardiovasculares de los participantes. Al comparar los resultados entre los grupos observamos que los atletas presentaron valores significativamente inferiores ($p < 0.001$) de índice de masa corporal, grasa corporal ($p < 0.001$) y frecuencia cardíaca de reposo ($p < 0.001$).

Así mismo, se pueden observar los datos ergoespirométricos del grupo control y del grupo de atletas. Tanto la frecuencia cardíaca máxima como el consumo máximo de oxígeno ($p < 0.001$) y la ventilación pulmonar ($p < 0.05$) fueron mayores en el grupo de atletas respecto al grupo control. Con relación al cociente respiratorio, fue más elevado en el grupo control ($p < 0.05$).

Concentración urinaria de los metales

La **tabla 2** muestra las concentraciones urinarias de cada elemento, sin corrección y con corrección para la creatinina, en los atletas y el grupo control. Los resultados muestran la falta de diferencias significativas en las concentraciones urinarias de ambos grupos para los elementos P, As, B, Li, Rb y Sr. Las concentraciones urinarias de Mg ($p < 0.001$ y $p < 0.001$, sin corrección y con corrección para la creatinina, respectivamente) y Sn ($p < 0.05$) eran menores en los atletas que en el grupo control. Sin embargo, las concentraciones urinarias de Cs ($p < 0.05$ y $p < 0.001$, sin corrección y con corrección para la creatinina, respectivamente) eran superiores en los deportistas respecto al grupo control.

Discusión

En nuestro estudio podemos ver que la realización de un entrenamiento aeróbico puede producir cambios en la eliminación de algunos elementos traza. Así, los resultados obtenidos muestran que todos los elementos estudiados presentaban valores dentro de los considerados como normales en otros estudio de similares características, expresados como en nuestro estudio en $\mu\text{g/L}$, y utilizando una técnica similar²²⁻²⁴.

Algunos estudios han informado que la concentración de Mg en suero o plasma se reducía después del ejercicio^{3,4,6}. Los resultados presentaron concentraciones significativamente menores en

Tabla 2
Concentración urinaria de elementos minerales en el grupo control y el grupo de atletas

Elemento y unidades	Grupo	
	Control (n=26)	Atletas (n=21)
Magnesio		
mg/L	186.10 ± 131.80	65.97 ± 49.10**
mg/g creatinina	111.3 ± 91.32	44.92 ± 36.81**
Fósforo		
mg/L	1 754 ± 1 116	2 146 ± 1 162
mg/g creatinina	1 024 ± 692	1 407 ± 909
Arsénico		
$\mu\text{g/L}$	109.46 ± 199.7	63.56 ± 78.84
$\mu\text{g/g creatinina}$	56.08 ± 92.64	37.69 ± 41.29
Boro		
$\mu\text{g/L}$	1.256 ± 838.1	936.79 ± 305.9
$\mu\text{g/g creatinina}$	738.7 ± 568.9	690.1 ± 442.5
Litio		
$\mu\text{g/L}$	26.31 ± 13.56	32.19 ± 16.82
$\mu\text{g/g creatinina}$	15.38 ± 9.25	22.95 ± 12.39
Estañio		
$\mu\text{g/L}$	2.49 ± 1.49	1.146 ± 1.873
$\mu\text{g/g creatinina}$	1.16 ± 1.68	0.675 ± 0.92*
Cesio		
$\mu\text{g/L}$	5.55 ± 2.58	8.41 ± 5.94*
$\mu\text{g/g creatinina}$	3.20 ± 1.60	5.05 ± 2.65**
Rubidio		
mg/L	1 791 ± 1 207	1 988 ± 1 291
$\mu\text{g/g creatinina}$	1 018 ± 737.9	1 182.4 ± 563.9
Estroncio		
$\mu\text{g/L}$	121.96 ± 72.23	116.9 ± 45.01
$\mu\text{g/g creatinina}$	73.20 ± 43.35	70.15 ± 27.09

Test t-Student. Datos expresados como media ± desviación estándar.

* $p < 0.05$.

** $p < 0.001$ en comparación grupo control vs. atletas.

el caso de los atletas ($p < 0.001$). Esta menor eliminación de Mg en los atletas podría formar parte de un proceso adaptativo en estos para evitar pérdidas de un elemento de gran importancia para el rendimiento del deportista como es el Mg³.

Por otra parte, se observó también una menor eliminación urinaria para el Sn. El hombre está expuesto al Sn por su ingesta, inhalación y absorción por la dermis. Sin embargo, la principal fuente de ingestión es a través de la alimentación, especialmente en las comidas enlatadas, con la excepción de las áreas industriales, donde la concentración en el agua y en el aire es más elevada²⁵. Los resultados obtenidos no muestran concentraciones elevadas que podrían poner en peligro la salud de los sujetos. Sin embargo, esta menor eliminación en los atletas haría a estos sujetos más susceptibles a una posible intoxicación por Sn.

El estudio pone de manifiesto una significativamente mayor eliminación de Cs en los deportistas respecto a los controles. El Cs exhibe una reacción antagonista contra el potasio con respecto a la disponibilidad biológica¹⁷, y el potasio ejerce importantes funciones celulares tanto en reposo como en el ejercicio. Por tanto, si se produjera un aumento en las concentraciones de Cs podría producir una dificultad en la función del potasio en la célula y, con ello, una disminución en el rendimiento deportivo, por ello una mayor eliminación de Cs evitaría esta mala situación metabólica para el deportista, mejorando su rendimiento.

Los pocos estudios en la bibliografía de estos elementos en relación con la actividad física, un control nutricional más minucioso y el número de participantes son las principales limitaciones del estudio. En cualquier caso, el conocimiento de estos resultados podrían tener implicaciones importantes para la salud y el rendimiento del deportista.

Por todo lo anterior podemos concluir en nuestro estudio que los niveles encontrados en los elementos analizados se encuentran dentro de rangos normales, no existiendo, por tanto, riesgo para

la salud, y que la realización de entrenamiento físico sistemático provoca una menor eliminación de Mg y Sn y un incremento en la eliminación de Cs que evitaría la toxicidad por su acumulación, no perjudicando su rendimiento.

Responsabilidades éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable y de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki.

Confidencialidad de los datos. Los autores declaran que han seguido los protocolos de su centro de trabajo sobre la publicación de datos de pacientes.

Derecho a la privacidad y consentimiento informado. Los autores han obtenido el consentimiento informado de los pacientes y/o sujetos referidos en el artículo. Este documento obra en poder del autor de correspondencia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

- Resina A, Fedi S, Gatteschi L. Comparison of some serum copper parameters in trained runners and controls subjects. *Int J Sports Med.* 1990;11(1):58–60.
- Bertini I, Cavallaro G. Metals in the "omics" world: Copper homeostasis and cytochrome c-oxidase assembly in a new light. *J Biol Inorg Chem.* 2008;13(1):3–14.
- Lukaski HC. Magnesium, zinc, and chromium nutrition and physical activity. *Am J Clin Nutr.* 2000;72 (2 Suppl):585S–93S.
- Laires MJ, Alves F. Changes in plasma, erythrocyte, and urinary magnesium with prolonged swimming exercise. *Magnes Res.* 1991;4(2):119–22.
- Laires MJ, Madeira F, Sergio J, Colaco C, Vaz C, Felisberto GM, et al. Preliminary study of the relationship between plasma and erythrocyte magnesium variations and some circulating pro-oxidant and antioxidant indices in a standardized physical effort. *Magnes Res.* 1993;6(3):233–8.
- Mooren FC, Golf SW, Lechtermann A, Volker K. Alterations of ionized Mg²⁺ in human blood after exercise. *Life Sci.* 2005;77:1211–25.
- Bremner K, Bubb WA, Kemp GJ, Trenell MI, Thompson CH. The effect of phosphate loading on erythrocyte 2,3-bisphosphoglycerate level. *Clin Chim Acta.* 2002;323(1–2):111–4.
- Jørgensen SE. Principles of pollution abatement. *Pollution abatement for the 21st century.* Amsterdam: Elsevier; 2000.
- National Research Council. Arsenic in drinking water. Washington, D. C.: National Academies Press; 1999.
- Akter K, Naidu R. Arsenic speciation in the environment. En: Naidu R, Smith E, Owens G, Bhattacharya P, Nadebaum P, editores. *Managing arsenic in the environment: From soil to human health.* Collingwood, VIC: CSIRO Publishing; 2006. p. 59–71.
- Kabata-Pendias A, Pendias H. *Biogeochemistry of trace elements.* 2nd ed. Warsaw: Wyd Nauk PWN; 1999.
- Lai MS, Hsueh YM, Chen CJ, Shyp MP, Chen SY, Wu MM, et al. Ingested inorganic arsenic and prevalence of diabetes mellitus. *Am J Epidemiol.* 1994;139(5):484–92.
- Smith AH, Lingas EO, Rahman M. Contamination of drinking-water by arsenic in Bangladesh: A public health emergence. *Bull WHO.* 2000;78(9):1093–103.
- Penland JG. Dietary boron, brain function, and cognitive performance. *Environ Health Perspect.* 1994;102(7):65–72.
- Nielsens FH. Biochemical and physiological consequences of boron deprivation in humans. *Environ Health Perspect.* 1994;102(7):59–62.
- Hameed A, Vohora SB. Neuro-psychiatric disorders. En: Vohora SB, Dobrowolski JW, editores. *New horizons of health aspects of elements.* New Delhi: Jamia Hamdard University; 1990. p. 115–42.
- Kabata-Pendias A, Mukherjee AB. *Trace elements from soil to human.* Berlin: Springer; 2007.
- D'Haese PC, Verbeckmoes SC, Schrooten I, De Broe ME. The effects of strontium on bone formation. *Epidemiological experimental and cell biological aspects. Macro and trace elements, Workshop, Jena;* 2002. p. 1223–30.
- Porta J, Galiano D, Tejedo A, González JM. Valoración de la composición corporal. Utopías y realidades. En: *Manual de Cineantropometría. Monografías FEMEDE.* Pamplona; 1993. p. 113–70.
- Sarmiento-González A, Marchante-Gayón J, Tejerina-Lobo J, Paz-Jiménez J, Sanz-Medel A. ICP-MS multielemental determination of metals potentially released from dental implants and articular prostheses in human biological fluids. *Anal Bioanal Chem.* 2005;382(4):1001–9.
- Shi H, Ma Y, Ma Y. A simple and fast method to determine and quantify urinary creatinine. *Anal Chim Acta.* 1995;312(1):79–83.
- Heitland P, Koster HD. Biomonitoring of 30 trace elements in urine of children and adults by ICP-MS. *Clin Chim Acta.* 2006;365(1–2):310–8.
- Maraver F, Isidro-Vitoria I, Ferreira-Pêgo C, Armijo F, Salas-Salvadó J. Magnesium in tap and bottled mineral water in Spain and its contribution to nutritional recommendations. *Nutr Hosp.* 2015;31(5):2297–312.
- Hermes C, Azevedo D, Queiroz AC, Costa K, Campos LF, Colli C. There is chronic latent magnesium deficiency in apparently healthy university students. *Nutr Hosp.* 2014;30(1):200–4.
- Biégo GH, Joyeux M, Hartemann P, Debry G. Determination of dietary tin intake in an adult French citizen. *Arch Environ Contam Toxicol.* 1999;36(2):227–32.