



Revisión

De la deshidratación a la hiperhidratación; bebidas isotónicas y diuréticas y ayudas hiperhidratantes en el deporte

Aritz Urdampilleta^{1,2,3,5} y Saioa Gómez-Zorita^{3,4,5}

¹Profesor de Fisiología del Esfuerzo y Nutrición Deportiva. Centro Público para la Enseñanza de Deportes. KIROLENE. Gobierno Vasco. ²Departamento de Fisiología. Facultad de Farmacia. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU). ³Asesoramiento Científico-Técnico para la Planificación Deportiva. NUTRIAKTIVE. ⁴Departamento de Farmacia y Ciencias de los Alimentos. Facultad de Farmacia. Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV-EHU). Vitoria-Gasteiz. ⁵Asesores Científicos NUTRIAKTIVE. Vitoria-Gasteiz. España.

Resumen

Las necesidades de agua y electrolitos son variantes, según la edad, estado fisiológico o condiciones ambientales. En la mayoría de deportes de larga duración, es habitual una pérdida de peso de un 3-6%, que repercutirá en el rendimiento deportivo. Los efectos de un 6% de deshidratación podrían mejorarse con estrategias dietético-nutricionales específicas e individualizadas y permitir únicamente un 2-3% de deshidratación, que afectará a la eficiencia metabólica pero no tendrá riesgo para la salud. Al contrario, la hiperhidratación también puede ser peligrosa, asociándose a hiponatremia que puede provocar edema cerebral o insuficiencia respiratoria. Las bebidas isotónicas deben hidratar, aportar sales minerales e hidratos de carbono y aumentar la absorción de agua mediante la combinación de sales minerales y azúcares. Por ello, es importante aportar correctos protocolos de hidratación antes, durante y después de la actividad física, así como conocer las limitaciones a las que la práctica deportiva nos pueda llevar.

(Nutr Hosp. 2014;29:21-25)

DOI:10.3305/nh.2014.29.1.6775

Palabras clave: Hidratación. Deshidratación. Deporte. Bebidas diuréticas. Hiperhidratación.

Introducción

Las necesidades de agua y electrolitos son variantes, según la edad, estado fisiológico o condiciones ambientales. El 50-65% del peso corporal total es agua y si esta proporción se sale de ciertos límites, puede llegar a estados de deshidratación o hiperhidratación, que podrían poner en peligro la salud del deportista¹.

Correspondencia: Aritz Urdampilleta.
Departamento de Fisiología.
Facultad de Farmacia. Universidad del País Vasco (UPV-EHU).
C/ Paseo de las Universidades, 71.
1006 Vitoria-Gasteiz. España.
E-mail: aritz.urdampilleta@ehu.es

Recibido: 14-IX-2013.

Aceptado: 6-XII-2013.

FROM DEHYDRATION TO HYPERHYDRATION ISOTONIC AND DIURETIC DRINKS AND HYPERHYDRATANT AIDS IN SPORT

Abstract

The needs of water and electrolytes are quite variants, depending on age, physiological or environmental conditions. In most long-term sports, usual weight loss of 3-6%, affect in athletic performance. The effects of a 6% dehydration could be improved with individualized diet-specific nutritional strategies and allow only a 2-3% dehydration, which affect metabolic efficiency but will not risk the health. On the contrary, hyperhydration can be dangerous and is associated with hyponatremia that can cause cerebral edema or respiratory failure. Sports drinks should moisturize, providing minerals and carbohydrates and increase the absorption of water by an ideal combination of salts and sugars. Therefore, it is important to provide correct hydration -protocols before, during and after physical activity, as well as know possible limitations of the sport.

(Nutr Hosp. 2014;29:21-25)

DOI:10.3305/nh.2014.29.1.6775

Key words: Hydration. Dehydration. Sport. Diuretic drinks. Hyperhydration.

El agua es parte esencial de los líquidos corporales y el medio de transporte de sustancias, forma parte de diferentes secreciones corporales y es el medio donde ocurren las reacciones bioquímicas. Desde el punto de vista de la fisiología digestiva, asiste a múltiples procesos y regula la temperatura corporal. Las principales funciones del agua en relación con la actividad física son: transporte de oxígeno a los tejidos, las hormonas y los nutrientes así como dióxido de carbono y otros desechos metabólicos; contiene agentes tampón del pH sanguíneo; ayuda a disipar el calor.

Los individuos con menos agua corporal (mujeres, obesos, ancianos) tendrán mayor riesgo de deshidratarse y, deberían controlar más su hidratación². La cantidad de agua varía mucho según los tejidos: la sangre contiene un 80%, el músculo 70% y el tejido adiposo

Tabla I
Efectos fisiológicos de la deshidratación según el grado de deshidratación (elaboración propia)

Niveles de deshidratación	Efectos fisiológicos
1%	Aumento de 0,3° C y unas 6 pul/min a una misma carga de ejercicio físico ⁸ .
2%	Afectación a nivel de termorregulación. Tª corporal aumenta (0,6-1° C) y la FC.
3%	Disminuye la resistencia muscular por pérdida de eficiencia bioenergética. Se puede dar hipertermia, cefalea y desorientación.
4%	Pérdida de resistencia y fuerza. Calambres musculares por pérdida de electrolitos. Riesgo de congelaciones a altitudes elevadas y por debajo de 0° C.
5-6%	Agotamiento. Aumenta la Tª corporal (39-41° C).

Tª: temperatura; FC: frecuencia cardíaca.

20-25%. Por tanto, los sujetos con más grasa, tendrán menos agua. Los deportistas, que tienen más volumen de sangre y muscular, presentan niveles elevados de agua corporal (60-65%), si están euhydratados³. Esto disminuye su susceptibilidad a deshidratarse.

Sin embargo, en deportes de larga duración (maratón, triatlones...) de más de 4 horas, es habitual la pérdida de un 2-6% del peso corporal, que repercutirá en la salud y es un factor limitante del rendimiento deportivo⁴. Los efectos de un 6% de deshidratación podrían mejorarse con estrategias dietético-nutricionales específicas e individualizadas y permitir únicamente un 2-3% de deshidratación, que afectará a la eficiencia metabólica pero no tendrá riesgo para la salud⁵.

Método

Se realizó una búsqueda en las bases de datos PubMed, Scirus, Scielo, SportDiscus, Embase y Escopus. También se han obtenido documentos con el motor de búsqueda "Google Académico" y la estrategia bola de nieve, para poder obtener más artículos.

Se establecieron palabras clave que coincidieran con los descriptores del Medical Subjects Headings (MeSH) ("sport" OR "hydration" OR "fluid replacement" OR "isotonic drinks" OR "sport drinks" AND "recovery drinks" AND "nutritional aids" AND "hyperhydration", tanto en inglés como en castellano). Se acotaron los años de búsqueda 2006-2013, integrando otros artículos relevantes a través de la estrategia de búsqueda bola de nieve.

Estadis de deshidratación e hiperhidratación

Una deshidratación moderada (2%) es el límite en el que comienza el decaimiento de rendimiento físico y cognitivo. Se reduce el volumen plasmático, aumenta la frecuencia cardíaca (FC), disminuye el flujo sanguíneo a la piel, se reduce la sudoración y disipación de calor, y aumenta 1° C la temperatura corporal, y cuando

llega a 39° C, decae drásticamente el rendimiento por un mal funcionamiento de la obtención de energía así como afectación neurofisiológica⁶. Esto hace que la deshidratación en deportes de concentración (motociclismo, fórmula 1)⁷ disminuya el rendimiento.

Así podemos clasificar los efectos de la deshidratación en niveles (tabla I).

La deshidratación del 5% con ejercicios de intensidad superior al umbral anaeróbico durante 10', afecta al estado anabólico/catabólico. Aumenta el cortisol y en consecuencia una misma carga de ejercicio puede resultar más fatigante⁹.

Al contrario, la hiperhidratación (habitual en carreras de larga duración) también puede ser peligroso¹⁰, asociándose a hiponatremia. Puede provocar edema cerebral o insuficiencia respiratoria¹¹. La hiponatremia dilucional se caracteriza por una concentración plasmática de sodio (Na) inferior a 135 mEq/L. La incidencia aumenta a partir de 6-8 horas (> 30° C y humedad relativa 55%), se asocia a falta de aclimatación al calor, pérdida de Na, por la ingesta excesiva de agua o bebidas hipotónicas. Se trata con bebidas hipertónicas, como las que se utilizan tras los acontecimientos deportivos¹² y con una aclimatación adecuada al calor durante 7-14 días (entrenamientos en ambientes calurosos y de gran humedad).

En carreras de atletismo de ultramaratón (120-160 km), por la dificultad de ingerir una cantidad adecuada de líquidos, se dan estados de deshidratación (3-6%) en el 50% de los maratonianos y el 30% padecen hiponatremia¹³. No obstante, en carreras ciclistas de ultraresistencia pueden ingerir más cantidad de bebida, por no haber tanto movimiento de estómago. Knechtle B et al.¹⁴, estudiaron carreras de ultraresistencia "non stop" de más de 1 día. Los ciclistas ingerían 0,7l/h de bebida isotónica y se observó un aumento de la densidad de la orina y 1,4% de pérdida de peso.

En deportes de corta duración y alta intensidad como algunos de fuerza, la deshidratación reduce la capacidad del sistema nervioso central de estimular la contracción muscular¹⁵. Así, un 3% de deshidratación reduce un 8% la fuerza del tren superior y un 19% la del inferior¹⁶.

Tabla II
Funciones de los principales electrolitos (elaboración propia)

SODIO (Na)	Regula la cantidad de agua del organismo, interviene en la excitabilidad del músculo y permeabilidad celular.
POTASIO (K)	Regula el contenido de agua intracelular, interviniendo en la síntesis proteica y de glúcidos, excitabilidad neuromuscular, etc.
CLORO (Cl)	Mantiene la presión osmótica, equilibrio ácido-base y es esencial en el jugo gástrico.

A su vez, en nadadores se observan diferencias respecto a deportes no acuáticos. Si la temperatura del agua está por debajo de la corporal, la pérdida de sudor es menor. Por ello, a pesar de la elevada humedad relativa (piscinas cubiertas) (65-80%), el índice de sudoración apenas llega a 0,5-0,7l/hora, 1-2% de pérdida de peso en las competiciones de 2 horas y hasta un 2,5% en competiciones de 3 horas¹⁷. Durante los entrenamientos no se han observado pérdidas de agua tan elevadas (0,5-1/h), y lo compensan con bebidas isotónicas durante los entrenamientos¹⁸.

Necesidades hídricas y de electrolitos en el deporte

Es importante saber de dónde vienen las pérdidas e ingresos hídricos. Entre las pérdidas diarias, está la orina (1-2 L), sudoración (0,1 L), transpiración (0,3 L) y heces (0,1 L). El agua ingerida (2-4 L), proviene de bebidas (1-3 L), alimentos (1,6 L) y agua metabólica (0,4 L)¹⁹. En el deporte, a través de la respiración y sudoración las pérdidas pueden llegar a 2-4 l/h. Las necesidades hídricas dependen de la intensidad de la actividad y el estrés térmico, se deberían tomar 0,7-1 l/h de bebida isotónica durante la actividad²⁰. La bebida debe contener 0,5-0,7 g Na/l en deportes de 2-3 horas y 0,7-1,2 g Na/l en ultraresistencia²¹.

Resulta difícil calcular las necesidades de cada colectivo o individuo, ya que son muy variantes incluso en un mismo individuo según diversos factores como condiciones ambientales y la actividad física realizada²².

En el deporte, para disipar el calor se da principalmente la sudoración, sin olvidarnos de las pérdidas por hiperventilación²³. Así, en un sedentario se considera normal la toma de 2 L/d²⁴ y en un activo 3 L/d²⁰.

En el contexto deportivo los electrolitos son fundamentales (tabla II).

Características de las bebidas isotónicas

Las bebidas isotónicas deben: hidratar y evitar la deshidratación durante la actividad deportiva; aportar sales minerales (sobre todo Na y Cl y P); aportar hidratos de carbono (HC); aumentar la absorción de agua mediante la combinación de sales minerales y azúcares (de rápida y lenta absorción en proporción de 3/1).

Para que la hidratación sea adecuada, las bebidas durante la competición deben ser isotónicas (200-320

mOsm/kg agua). Durante la actividad física, en deportes con una duración menor a 1 hora, las instituciones internacionales recomiendan no pasar de 6-9% la concentración de HC²¹.

Algunos autores, recomiendan una toma máxima de 90 g/h HC en competiciones de ultraresistencia, pero estas cantidades pueden causar molestias gastrointestinales²⁵. Pese a ello, los deportistas que toleran más HC durante la competición, son los de mayor rendimiento. Por ello las últimas recomendaciones en deportistas de larga duración son 60-90 g de HC/h, especialmente a partir de las 4 h²⁶.

Las cantidades óptimas de absorción intestinal son 600-800 ml/h agua, 60 g glucosa²⁷ y hasta 90 g de maltodextrina o fructosa²⁸, esta última puede dar problemas gastrointestinales. Por ello no se recomienda que la bebida contenga más de 20-30% de fructosa.

Las temperaturas bajas (10° C) enlentecen la absorción de la bebida y por encima de 20° C no son apetecibles. Es importante mantener una adecuada temperatura de la bebida, especialmente en ambientes calurosos, pudiendo utilizar cubitos de hielo y así mantenerlo fresco y apetecible²⁹.

Bebidas diuréticas y sus efectos en la hidratación

Hay bebidas con efecto diurético, como el alcohol. Así si el grado de alcohol es de un 2% puede hidratar pero un 4%³⁰ deshidrata (cerveza, sidra, vino). Al ser el índice glucémico de la cerveza elevado, podría ayudar a la recuperación del glucógeno muscular post-ejercicio, pero las bebidas isotónicas son más adecuadas al tener una correcta osmolaridad, concentración de sales y HC óptimo.

También ha habido controversia sobre la toma de cafeína a dosis elevadas (300 mg/d), por sus efectos diuréticos. No obstante, según Maughan et al.³¹, el efecto diurético de la cafeína puede ser considerable en deportistas no habituados. Según Del Coso et al.³² en ciclistas aclimatados al calor al 63% VO₂max 2 h y con 6 mg cafeína/kg, se observó que aumentaba la diuresis (28%) y la pérdida de electrolitos (14%). Pero estos efectos disminuían si se tomaba con bebida isotónica, no afectando en un ejercicio de 2 h a 36° C, con lo cual sus efectos sólo podrían observarse en carreras de muy larga distancia y no aclimatados al calor. Tampoco se ha constatado el efecto diurético del té en consumidores habituales y no obstante parecen mejorar el humor³³.

Tabla III
Protocolo de hidratación y reposición de líquidos (elaboración propia)

	<i>Antes</i>	<i>Durante</i>	<i>Después</i>
Recomendación hidratación	Beber 5-7 ml/kg 4 h antes del ejercicio. Si no puede orinar o es oscura (concentrada), deberían añadirse 3-5 ml/kg más las últimas 2 h. Días muy calurosos asegurar la toma de 0,5L la última hora.	Beber cada 15-20' 150-250 ml de bebida isotónica con 6-8% de mezcla de azúcares. Beber 0,6-1l/h, según modalidad deportiva. Asegurar la toma de 0,5-0,7 g de Na/l. Días calurosos y en ultraresistencia aumentar 0,7-1g Na/l.	Ingerir como mínimo, 150% de la pérdida de peso (1,5 l/kg peso perdido) las primeras 6 h post ejercicio, con 1-1,5g Na/l. ^{35,36}
Características de la bebida	Isotónica 0,5-0,7 g Na/l. 4-6% azúcares	Isotónica 0,5-0,7 g Na/l. 6-8% azúcares	Hipertónicas 1-1,5 g Na/l. 9-10% azúcares ^{35,37}
Otros nutrientes para la recuperación deportiva		La toma de hidrolizado de proteínas de rápida absorción (2-4%) en carreras de ultraresistencia puede ser eficaz para mejorar la recuperación ^{38,39} .	Aa ramificados: ayudan a la recuperación muscular y mejora del sistema inmunológico ⁴⁰ . Se ha visto papel inmunomodulador de azúcares ⁴¹ . Beber 1,2 g HC/Kg ayuda a recuperar el glucógeno muscular, más si añadimos proteína hidrolizada Proporción HC/P, 3-4/1 ⁴² .
Observaciones	Las bebidas con cantidades altas de Na (superior a 1g/l) y comidas saladas estimulan la sed y retienen líquidos. En competiciones superiores a 1 h, tomar bebida isotónica.	En modalidades con gran movimiento estomacal, será difícil tomar más de 0,6l/h. En modalidades como el ciclismo o cuando se compite a intensidades irregulares se puede aumentar el volumen.	Si se ha perdido más de un 2% del peso corporal, habrá que beber aunque no haya sed y aportar más Na, aunque sea mediante alimentos salados.
Otras ayudas	El glicerol o su combinación con creatina pueden ayudar como hiperhidratante.	La utilización del camelback o bidones y llevar cubitos de hielo.	Alimentos salados.

Na: sodio; AA: aminoácidos; HC: hidratos de carbono; P: proteínas.

Tabla IV
Ayudas ergonutricionales hiperhidratantes (elaboración propia)

	<i>Efectos</i>	<i>Protocolo de toma</i>	<i>Referencias</i>
Glicerol	Disminuye Tª corporal, FC y percepción de esfuerzo. Pérdida de peso < 2%.	1-1,5 g/kg en 1,5-2 L de fluido 2,5-4 h antes de la AF.	43-45
Creatina	Responsable de la síntesis de ATP Tamponador de protones e incrementador de la masa muscular Disminuye FC y Tª corporal durante ejercicio.	20 g/d (500 mL agua) 5-7 días, 2 g/d 2 meses y descanso. Conviene ingesta con HC (100 g/5g creatina), se retiene 60% más.	46,47
Carga de HC	Ayuda a retener la creatina	4,8% HC (Bebida deportistas) 6-10% en 300-500 mL 15 min antes de la AF. Durante la AF 6-8% en 800-1.500 mL/h.	47,48
Sodio	Retiene líquidos	23-69 mg/100 mL (bebida para deportistas). Durante AF 10-30 mmol/L.	48

Tª: temperatura; FC: frecuencia cardíaca; AF: actividad física; HC: hidratos de carbono.

El protocolo de hidratación (tabla III) ha de ser individualizado a cada deporte, condiciones ambientales y necesidades individuales. Para ello se debería investigar en cada equipo-deportista la pérdida de agua y Na, en condiciones dadas³⁴.

Ayudas ergonutricionales hiperhidratantes

Otra estrategia para incrementar la hidratación es la utilización de agentes hiperhidratantes (tabla IV).

Bibliografía

1. Noakes TD. Commentary: role of hydration in health and exercise. *BMJ* 2012; 345: e4171.
2. Buffa R, Floris GU, Putzu PF, Marini E. Body Composition Variations in Ageing. *Coll Antropol* 2011; 35 (1): 259-65.
3. Neuffer PD, Sawka MN, Young AJ et al. Hypohydration does not impair skeletal muscle glycogen resynthesis after exercise. *J Appl Physiol* 1991; 70: 1490-4.
4. Clemente VJ, Muñoz VE, Martínez A. Fatiga del sistema nervioso después de realizar un test de capacidad de sprints repetidos (RSA) en jugadores de fútbol de categoría juvenil. *Apunts. Medicina de l'Esport* 2011; 46 (172): 177-82.
5. Jeukendrup AE, Currell K, Clarke J et al. Effect of beverage glucose and sodium content on fluid delivery. *Nutrition and metabolism* 2009; 6: 9.
6. Maughan RJ, Shirreffs SM, Watson P. Exercise, heat, hydration and the brain. *J Am Coll Nutr* 2007; 26 (5): 604S-612S.
7. Brearley MB, Finn JP. Responses of motor-sport athletes to v8 supercar racing in hot conditions. *Int J Sports Physiol Perform* 2007; 2 (2): 182-91.
8. Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM et al. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train* 2010; 45 (2): 147-56.
9. Maresh CM, Whittlesey MJ, Armstrong LE et al. Effect of hydration state on testosterone and cortisol responses to training-intensity exercise in collegiate runners. *Int J Sports Med* 2006; 27 (10): 765-70.
10. Wagner S, Knechtle B, Knechtle P et al. Higher prevalence of exercise-associated hyponatremia in female than in male open-water ultra-endurance swimmers: the "Marathon-Swim" in Lake Zurich. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112 (3): 1095-106.
11. Urso C, Brucculeri S, Caimi G. Hyponatremia and physical exercise. *Clin Ter* 2012; 163 (5): e349-e356.
12. Stuemfple KJ. Exercise-associated hyponatremia during winter sports. *Phys Sportsmed* 2010; 38 (1): 101-6.
13. Hoffman MD, Stuemfple KJ, Rogers IR et al. Hyponatremia in the 2009 161-km Western States Endurance Run. *Int J Sports Physiol Perform* 2012; 7 (1): 6-10.
14. Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T. No case of exercise-associated hyponatremia in male ultra-endurance mountain bikers in the "Swiss Bike Masters". *Chin J Physiol* 2011; 54 (6): 379-84.
15. Judelson DA, Maresh CM, Farrell MJ et al. Effect of hydration state on strength, power, and resistance exercise performance. *Med Sci Sport Exerc* 2007; 39: 1817-24.
16. Jones LC, Cleary MA, Lopez RM et al. Active Dehydration Impairs Upper and Lower Body Anaerobic Muscular Power. *J Strength Cond Res* 2008; 22: 455-63.
17. Soler R, Echegaray M, Rivera MA. Thermal responses and body fluid balance of competitive male swimmers during a training session. *J Strength Cond Res* 2003; 17 (2): 362-7.
18. Maughan RJ, Dargavel LA, Hares R et al. Water and salt balance of well-trained swimmers in training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009; 19 (6): 598-606.
19. Bueno M, Fleta J, García S et al. El agua y su regulación en el cuerpo humano. Requerimientos y tipos de agua de bebida. *Anales de Ciencias de la Salud* 2006; 9: 7-31.
20. Palacios N, Franco L, Manonelles P et al. Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. Documento de consenso de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Archivos de Medicina del Deporte* 2008; 15: 245-58.
21. American College of Sports Medicine (ACSM). Exercise and Fluid Replacement. Special Communications. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 377-90.
22. Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM. Evaluación nutricional Deportiva. Valencia: Universitat de Valencia; 2011.
23. Murray B. Hydration and physical performance. *J Am Coll Nutr* 2007; 26 (5): S542-S548.
24. Asociación Española de Gastroenterología (AEG) et al. Documento de consenso: Consejos de hidratación con bebidas con sales minerales e ingesta recomendada en los procesos de rehidratación y deshidratación leve. 2010.
25. Jeukendrup AE. Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J Sports Sci* 2011; 29 (1): S91-S99.
26. Pfeiffer B, Stellingwerff T, Hodgson AB et al. Nutritional intake and gastrointestinal problems during competitive endurance events. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44 (2): 344-51.
27. Rehrer NJ. Fluid and electrolyte balance in ultraendurance sport. *Sports Med* 2001; 31: 701-15.
28. Murray B. Hydration and physical performance. *J Am Coll Nutr* 2007; 26 (5): S542-S548.
29. Burke L. Fasting and recovery from exercise. *Br J Sports Med* 2010; 44: 502-8.
30. Hobson RM, Maughan RJ. Hydration status and the diuretic action of a small dose of alcohol. *Alcohol* 2010; 45 (4): 366-73.
31. Maughan RJ, Griffin J. Caffeine ingestion and fluid balance: a review. *J Hum Nutr Diet* 2003; 16 (6): 411-20.
32. Del Coso J, Estevez E, Mora-Rodríguez R. Caffeine during exercise in the heat: thermoregulation and fluid-electrolyte balance. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41 (1): 164-73.
33. Scott D, Rycroft JA, Aspen J et al. The effect of drinking tea at high altitude on hydration status and mood. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91 (4): 493-8.
34. Maughan RJ, Watson P, Evans GH et al. Water balance and salt losses in competitive football. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2007; 17 (6): 583-94.
35. Evans GH, Shirreffs SM, Maughan RJ. Postexercise rehydration in man: the effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. *Nutrition* 2009; 25 (9): 905-13.
36. Roses JM, Puyol P. Hidratación y ejercicio físico. *Apunts. Medicina de l'Esport* 2006; 41 (150): 70-7.
37. De Oliveira EP, Burini RC. Food-dependent, exercise-induced gastrointestinal distress. *J Int Soc Sports Nutr* 2011; 28: 8-12.
38. Jeukendrup AE, Moseley L. Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20 (1): 112-21.
39. Witard OC, Jackman SR, Kies AK et al. Effect of increased dietary protein on tolerance to intensified training. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43 (4): 598-607.
40. Negro M, Giardina S, Marzani B et al. Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48: 347-51.
41. Kratzig C. Pre-operative nutrition and carbohydrate loading. *Proc Nutr Soc* 2011; 70 (3): 311-5.
42. Urdampilleta A, Vicente-Salar N, Martínez-Sanz JM. Necesidades proteicas de los deportistas y pautas dietético-nutricionales para la ganancia de masa muscular. *Rev Esp Nutr Hum Diet* 2012; 16: 25-35.
43. Easton C, Turner S, Pitsiladis YP. Creatine and glycerol hyperhydration in trained subjects prior to exercise in the heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2007; 17 (1): 70-91.
44. Beis LY, Polyviou T, Malkova D, Pitsiladis P. The effects of creatine and glycerol hyperhydration on running economy in well trained endurance runners. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2011; 8: 24.
45. Goulet EDB. Glycerol-Induced Hyperhydration: A Method for Estimating the Optimal Load of Fluid to Be Ingested Before Exercise to Maximize Endurance Performance. *Journal of Strength & Conditioning Research* 2010; 24 (1): 74-8.
46. Rico-Sanz, J. Efectos de suplementación de creatina en el metabolismo muscular y energético. *Archivos de Medicina del Deporte* 1997; 61: 391-6.
47. Steenge GR, Simpson EJ, Greenhaff PL. Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *Journal of Applied Physiology* 2000; 89 (3): 1165-71.
48. Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Am Diet Assoc* 2009; 109: 509-27.



Revisión

From dehydration to hyperhydration isotonic and diuretic drinks and hyperhydratant aids in sport

Aritz Urdampilleta^{1,2,3} and Saioa Gómez-Zorita^{3,4}

¹Professor of Physiology and Sports Nutrition Effort. Public Center for Teaching Sports. KIROLENE. Basque Government. ²Department of Physiology. Faculty of Pharmacy. University of the Basque Country UPV/EHU (UPV-EHU). ³Scientific Advisory-Technical Planning for Sports. NUTRIAKTIVE. ⁴Department of Pharmacy and Food Science. Faculty of Pharmacy. University of the Basque Country UPV/EHU (UPV-EHU). Vitoria-Gasteiz. Spain.

Abstract

The needs of water and electrolytes are quite variants, depending on age, physiological or environmental conditions. In most long-term sports, usual weight loss of 3-6%, affect in athletic performance. The effects of a 6% dehydration could be improved with individualized diet-specific nutritional strategies and allow only a 2-3% dehydration, which affect metabolic efficiency but will not risk the health. On the contrary, hyperhydration can be dangerous and is associated with hyponatremia that can cause cerebral edema or respiratory failure. Sports drinks should moisturize, providing minerals and carbohydrates and increase the absorption of water by an ideal combination of salts and sugars. Therefore, it is important to provide correct hydration -protocols before, during and after physical activity, as well as know possible limitations of the sport.

(*Nutr Hosp.* 2014;29:21-25)

DOI:10.3305/nh.2014.29.1.6775

Key words: *Hydration. Dehydration. Sport. Diuretic drinks. Hyperhydration.*

DE LA DESHIDRATACIÓN A LA HIPERHIDRATACIÓN; BEBIDAS ISOTÓNICAS Y DIURÉTICAS Y AYUDAS HIPERHIDRANTES EN EL DEPORTE

Resumen

Las necesidades de agua y electrolitos son variantes, según la edad, estado fisiológico o condiciones ambientales. En la mayoría de deportes de larga duración, es habitual una pérdida de peso de un 3-6%, que repercutirá en el rendimiento deportivo. Los efectos de un 6% de deshidratación podrían mejorarse con estrategias dietético-nutricionales específicas e individualizadas y permitir únicamente un 2-3% de deshidratación, que afectará a la eficiencia metabólica pero no tendrá riesgo para la salud. Al contrario, la hiperhidratación también puede ser peligrosa, asociándose a hiponatremia que puede provocar edema cerebral o insuficiencia respiratoria. Las bebidas isotónicas deben hidratar, aportar sales minerales e hidratos de carbono y aumentar la absorción de agua mediante la combinación de sales minerales y azúcares. Por ello, es importante aportar correctos protocolos de hidratación antes, durante y después de la actividad física, así como conocer las limitaciones a las que la práctica deportiva nos pueda llevar.

(*Nutr Hosp.* 2014;29:21-25)

DOI:10.3305/nh.2014.29.1.6775

Palabras clave: *Hidratación. Deshidratación. Deporte. Bebidas diuréticas. Hiperhidratación.*

Introduction

The need of water and electrolytes vary according to age, physiological or environmental conditions. Up to

50-65% of total body weight is water and if this ratio is out of limits, it can reach states of dehydration or overhydration, which could endanger the health of the athlete.¹

Water is an essential part of the body fluids and the means of transport of substances, is part of various bodily secretions and is the medium where biochemical reactions occur. From the standpoint of digestive physiology it attends multiple processes and regulates body temperature. The main functions of water in relation to physical activity are: transport of

Correspondence: Aritz Urdampilleta.
Department of Physiology.
Faculty of Pharmacy. University of the Basque Country (UPV-EHU).
C/Paseo de las Universidades, 71.
1006 Vitoria-Gasteiz. España.
E-mail: aritz.urdampilleta@ehu.es

Recibido: 14-IX-2013.
Aceptado: 6-XII-2013.

Table I
Physiological effects of dehydration according to the degree of dehydration (own elaboration)

<i>Dehydration levels</i>	<i>Physiological effects</i>
1%	Increase of 0.3° C and about 6 pul/min at the same load of exercise ⁸ .
2%	Affectation at level of thermoregulation. Tbody increases (0.6-1° C) and HR.
3%	Decreases muscle strength due to loss of bioenergetic efficiency. Hyperthermia, headache and disorientation can occur.
4%	Loss of endurance and strength. Muscle cramps due to loss of electrolytes. Risk of freezing to altitude and below 0° C.
5-6%	Exhaustion. Increases body temp (39-41° C).

T: temperature; HR: heart rate.

oxygen to tissues, hormones and nutrients as well as carbon dioxide and other metabolic wastes; containing blood pH buffering agents, and helps dissipate heat. Individuals with less body water (women, obese, elderly) have increased risk of dehydration and should control more their hydration.² The amount of water varies greatly depending on the tissue: blood containing 80%, 70% muscle and adipose tissue of 20-25%. Thus, subjects with more fat, less water will. Athletes who have more blood volume and muscle, have high levels of body water (60-65%), if they are hydrated.³ This decreases their susceptibility to dehydration.

However, long-term sports (marathon, triathlon ...) of more than 4 hours, the usual 3-6% loss of body weight, which will impact on the health and is a limiting factor in athletic performance.⁴ The effects of 6% dehydration could be improved with specific dietary and nutritional strategies and individualized, and allow only 2-3% dehydration, which affect the metabolic efficiency but will not pose a health risk.⁵

Method

A search was made on the basis of Pubmed, Scirus, SciELO, SportDiscus, Embase and Scopus data. We have also obtained documents with the search engine "Google Scholar" and a snowball strategy, in order to get more items.

Keywords coincide with the descriptors of Medical Subject Headings (MeSH) ("sport" OR "hydration" OR "replacement fluid" OR "isotonic drinks" OR "sport drinks" AND "recovery drinks" AND "nutritional aids" AND settled "hyperhidration" in both English and Castilian). Search was done between the years 2006-2013, integrating other relevant articles through the snowball search strategy.

Studies on dehydration and hyperhydration

A mild dehydration (2%) is the limit in which the decay of physical and cognitive performance begins. It reduces plasma volume, increases heart rate (HR) decreases blood flow to the skin, sweating and heat dissipation is reduced and body temperature increases by 1° C, and when it reaches 39° C, performance fell drastically by a malfunction of energy production and neuropsychological impairment.⁶ This causes dehydration concentration in sports (motorcycling, formula 1)⁷ to reduce the performance.

Thus we can classify the effects of dehydration levels (table I).

The 5% dehydration exercises which exceed the anaerobic threshold for 10⁷, affects the anabolic/catabolic state. It increases cortisol and consequently the same load of exercise may prove more fatiguing.⁹

On the other hand, hyperhydration (common in endurance races) can also be hazardous,¹⁰ being associated with hyponatremia. It can cause cerebral edema or respiratory failure.¹¹ Dilutional hyponatremia is characterized by a plasma concentration of sodium (Na) less than 135 mEq/L. The incidence increases from 6-8 hours (> 30° C and relative humidity 55%), it is associated with a lack of heat acclimatization, Na loss by excessive intake of water or hypotonic beverages. It is treated with hypertonic beverages, as those used after sporting events¹² and with proper heat acclimatization for 7-14 days (training in hot and high humidity environments).

In Athletics ultra-marathon races (120-160 km), because of the difficulty of ingesting adequate amounts of liquids, states of dehydration (3-6%) occur in 50% of marathoners and 30% suffer from hyponatremia.¹³ However, cyclists in races of ultra-endurance can ingest a larger amount of beverage, as there is less

Table II
Functions of the main electrolytes (own elaboration)

SODIUM (Na)	Regulates the amount of water in the body and intervenes in the muscle excitability and cell permeability.
POTASIUM (K)	Regulates the intracellular water content by intervening in protein and carbohydrate synthesis, neuromuscular excitability, etc.
CHLORINE (Cl)	Maintains osmotic pressure and acid-base balance and is essential in the gastric juice.

stomach movement. Knechtle B et al.,¹⁴ studied ultra-endurance “non-stop” races of more than 1 day. Cyclists ingested 0.7 l/h of isotonic beverage and increased the density of the urine and 1.4% weight loss was observed.

In sports of short duration, such as those of high intensity force, dehydration reduces the ability of the central nervous system to stimulate muscle contraction.¹⁵ Thus, 3% dehydration reduces strength in the upper body by 8% and 19% of the lower body.¹⁶

In turn, in swimmers, we observe differences in respect to other water sports. If the water temperature is below that of the body, sweat loss is smaller. Therefore, despite the high relative humidity (indoor) (65-80%), the rate of sweating barely reaches 0.5-0.7 l/hour, 1-2% weight loss competitions of 2 hours and up to 2.5% in 3 hour competitions.¹⁷ During training high water losses (0.5-1/h) have not been observed, and these are compensated with an intake of sports drinks during the workouts.¹⁸

Water and electrolyte needs in sport

It is important to know where the hydric losses and intakes come from. Among the daily losses we have urine (1-2 L), sweat (0,1 L), transpiration (0,3 L) and faeces (0,1 L). Water taken (2-4 L), comes from drinks (1-3 L), food (1,6 L) and metabolic water (0,4 L).¹⁹ In sport, through breathing and sweating losses may reach 2-4 l/h. The water needs depend on the intensity of the activity and thermal stress, 0.7-1 l/h of isotonic drink during activity should be taken.²⁰ The drink should contain 0.5-0.7 g Na/l in sports of 2-3 hours and Na 0.7-1.2 g/l in ultra-endurance.²¹

It is difficult to assess the needs of each group or individual, as they vary a lot even in the same individual depending on several factors such as environmental conditions and physical activity.²²

In sports, to dissipate heat it occurs mainly through sweating, not to mention losses due to hyperventilation.²³ Thus, it is considered normal for someone sedentary the intake of 2 l/d²⁴ 3 l/d²⁰ in an active person.

In the sporting context electrolytes are critical (table II).

Characteristics of isotonic drinks

Sports drinks should: hydrate and prevent dehydration during sports activity, provide mineral salts

(mainly Na and Cl and P); provide carbohydrates (HC) increase the absorption of water by the combination of mineral salts and sugars (fast and slow absorption in a ratio of 3/1).

For hydration to be adequate, drinks during the competition must be isotonic (200-320 mOsm/kg water). During physical activity, in sports with a duration of less than 1 hour, international institutions recommend not exceeding 6-9% in the concentration of HC.²¹

Some authors recommend a maximum intake of 90 g/h HC in ultra-endurance competitions, but these amounts may cause gastrointestinal discomfort.²⁵ Despite this, athletes who tolerate HC more during the competition, are those with the highest performance. So the latest recommendations on long-term athletes are 60-90 g of HC/h, especially after 4 h.²⁶

Optimal amounts of intestinal absorption are 600-800 ml/h water, 60 g glucose²⁷ and up to 90 g of maltodextrin and fructose,²⁸ the latter can give gastrointestinal problems. Therefore it is not recommended that the beverage contains more than 20-30% fructose.

Lower temperatures (10° C) slow the absorption of the beverage and above 20° C are not desirable. It is important to maintain proper temperature of the drink, especially in hot environments being able to use ice cubes and keep it cool and appetizing as well.²⁹

Diuretic drinks and their effects on hydration

There are diuretic beverages, such as alcohol. So if the alcohol is 2% it can hydrate but 4%³⁰ dehydrates (beer, cider, wine). As beer has a high glycemic index, it could help the recovery of muscle glycogen post-exercise, but sports drinks are more appropriate to have a correct osmolarity, salt concentration and optimal HC.

There has also been controversy about taking high doses of caffeine (300 mg/d), for their diuretic effects. However, according to Maughan et al.,³¹ the diuretic effect of caffeine can be significant in unaccustomed sportsmen. According to Del Coso et al.³² in cyclists accustomed to 63% heat VO₂max 2 h with 6 mg caffeine/kg, it was observed that it increased diuresis (28%) and loss of electrolyte (14%). But these effects diminished if taken with isotonic drink, not affecting an exercise of 2 h at 36° C, thus its

Table III
Hydration protocol and fluid replacement (own elaboration)

	<i>Before</i>	<i>During</i>	<i>After</i>
Recommendation of hydration	Drink 5-7 ml/kg 4 h before exercise. If you can not urinate or its dark (concentrated), you should add 3-5 ml/kg over the last 2 h. On very hot days ensure an intake of 0,5L in the last hour.	Drink every 15-20' 150-250 ml of isotonic drink with 6-8% mixture of sugars. Drink 0.6-1l/h, depending on sport. Ensure taking Na 0.5-0.7 g/l. On hot days and in ultra endurance increase Na 0.7-1g/l.	Ingesting at least 150% of the weight loss (1.5 l/kg lost weight) the first 6 h post-exercise, with Na 1-1.5 g /l. ^{35,36}
Characteristics of the beverage	Isotonic 0.5-0.7 g Na/l. 4-6% sugars	Isotonic 0.5-0.7 g Na/l. 6-8% sugars	Hypertonic 1-1.5 g/l Na. 9-10% sugars ^{35,37}
Other nutrients for sports recovery		The taking of protein hydrolyzate of rapid absorption (2-4%) in ultra-endurance races can be effective to improve recovery ^{38,39} .	Aa branched: help muscle recovery and improve the immune system ⁴⁰ . It has been seen immunomodulatory role of sugars ⁴¹ . Drink HC 1.2 g/kg helps restore muscle glycogen, more if we add hydrolyzed protein ratio HC/P, 3-4/1 ⁴² .
Observations	Drinks with high amounts of Na (above 1 g/l) and salty foods stimulate thirst and retain fluid. In competitions longer than 1 h, take isotonic drink.	In modalities with great stomach movement it will be difficult to take more than 0.6 l/h. In modalities such as cycling or when competing at irregular intensities it an increase the volume.	If you have lost more than 2% of body weight you should be drinking even if there is no thirst and provide more Na, even if its with salty foods.
Other aids	Glycerol or combination with creatine may help as hyperhydrant.	The use of drums or camelback and carrying ice cubes.	Salty foods.

Na: sodium; AA: amino acids; HC: carbohydrates; P: protein.

Table IV
Hyperhydrants ergonutritional aids (own elaboration)

	<i>Effects</i>	<i>Intake protocol</i>	<i>References</i>
Glycerol	Decreases body T, FC and perceived exertion. Weight loss < 2%.	1-1.5 g/kg in 1.5-2 L of fluid 2.5-4 h before AF.	43-45
Creatine	Responsible for the synthesis of ATP proton buffering and muscle enhancer FC and T decreases in the body during exercise.	20 g/d (500 mL water) 5-7 days, 2 g/d 2 months and a half. Should intake with HC (100 g/5 g creatine), it retains 60% more.	46,47
HC lost	Helps retain creatine	4.8% HC (sports drink) 300-500 mL 6-10% in 15 min before the AF. During 6-8% HF 800-1,500 mL/h.	47,48
Sodium	Retains liquids	23-69 mg/100 mL (sports drink). During AF 10-30 mmol/L.	48

T: temperature; HR: heart rate; AF: physical activity; HC: carbohydrates.

effects could only be observed in very long distance races and not exposed to heat. Nor has the diuretic effect of tea on regular users been found, and yet it seems to improve mood.³³

The hydration protocol (table III) must be individualized to each sport, environmental conditions and needs. This should be investigated in each team-athlete the loss of water and Na, under given conditions.³⁴

Hyperhidrant ergonutritional aids

Another strategy is to increase the use of Hyperhidrant moisturizing agents (table IV).

References

- Noakes TD. Commentary: role of hydration in health and exercise. *BMJ* 2012; 345: e4171.
- Buffa R, Floris GU, Putzu PF, Marini E. Body Composition Variations in Ageing. *Coll Antropol* 2011; 35 (1): 259-65.
- Neufer PD, Sawka MN, Young AJ et al. Hypohydration does not impair skeletal muscle glycogen resynthesis after exercise. *J Appl Physiol* 1991; 70: 1490-4.
- Clemente VJ, Muñoz VE, Martínez A. Fatiga del sistema nervioso después de realizar un test de capacidad de sprints repetidos (RSA) en jugadores de fútbol de categoría juvenil. *Apunts. Medicina de l'Esport* 2011; 46 (172): 177-82.
- Jeukendrup AE, Currell K, Clarke J et al. Effect of beverage glucose and sodium content on fluid delivery. *Nutrition and metabolism* 2009; 6: 9.
- Maughan RJ, Shirreffs SM, Watson P. Exercise, heat, hydration and the brain. *J Am Coll Nutr* 2007; 26 (5): 604S-612S.
- Brearley MB, Finn JP. Responses of motor-sport athletes to v8 supercar racing in hot conditions. *Int J Sports Physiol Perform* 2007; 2 (2): 182-91.
- Casa DJ, Stearns RL, Lopez RM et al. Influence of hydration on physiological function and performance during trail running in the heat. *J Athl Train* 2010; 45 (2): 147-56.
- Maresh CM, Whittlesey MJ, Armstrong LE et al. Effect of hydration state on testosterone and cortisol responses to training-intensity exercise in collegiate runners. *Int J Sports Med* 2006; 27 (10): 765-70.
- Wagner S, Knechtle B, Knechtle P et al. Higher prevalence of exercise-associated hyponatremia in female than in male open-water ultra-endurance swimmers: the "Marathon-Swim" in Lake Zurich. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112 (3): 1095-106.
- Urso C, Brucculeri S, Caimi G. Hyponatremia and physical exercise. *Clin Ter* 2012; 163 (5): e349-e356.
- Stuempfle KJ. Exercise-associated hyponatremia during winter sports. *Phys Sportsmed* 2010; 38 (1): 101-6.
- Hoffman MD, Stuempfle KJ, Rogers IR et al. Hyponatremia in the 2009 161-km Western States Endurance Run. *Int J Sports Physiol Perform* 2012; 7 (1): 6-10.
- Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T. No case of exercise-associated hyponatremia in male ultra-endurance mountain bikers in the "Swiss Bike Masters". *Chin J Physiol* 2011; 54 (6): 379-84.
- Judelson DA, Maresh CM, Farrell MJ et al. Effect of hydration state on strength, power, and resistance exercise performance. *Med Sci Sport Exerc* 2007; 39: 1817-24.
- Jones LC, Cleary MA, Lopez RM et al. Active Dehydration Impairs Upper and Lower Body Anaerobic Muscular Power. *J Strength Cond Res* 2008; 22: 455-63.
- Soler R, Echegaray M, Rivera MA. Thermal responses and body fluid balance of competitive male swimmers during a training session. *J Strength Cond Res* 2003; 17 (2): 362-7.
- Maughan RJ, Dargavel LA, Hares R et al. Water and salt balance of well-trained swimmers in training. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2009; 19 (6): 598-606.
- Bueno M, Fleta J, García S et al. El agua y su regulación en el cuerpo humano. Requerimientos y tipos de agua de bebida. *Anales de Ciencias de la Salud* 2006; 9: 7-31.
- Palacios N, Franco L, Manonelles P et al. Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de líquidos. Documento de consenso de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Archivos de Medicina del Deporte* 2008; 15: 245-58.
- American College of Sports Medicine (ACSM). Exercise and Fluid Replacement. Special Communications. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39: 377-90.
- Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM. Evaluación nutricional Deportiva. Valencia: Universitat de Valencia; 2011.
- Murray B. Hydration and physical performance. *J Am Coll Nutr* 2007; 26 (5): S542-S548.
- Asociación Española de Gastroenterología (AEG) et al. Documento de consenso: Consejos de hidratación con bebidas con sales minerales e ingesta recomendada en los procesos de rehidratación y deshidratación leve. 2010.
- Jeukendrup AE. Nutrition for endurance sports: marathon, triathlon, and road cycling. *J Sports Sci* 2011; 29 (1): S91-S99.
- Pfeiffer B, Stellingwerff T, Hodgson AB et al. Nutritional intake and gastrointestinal problems during competitive endurance events. *Med Sci Sports Exerc* 2012; 44 (2): 344-51.
- Rehrer NJ. Fluid and electrolyte balance in ultraendurance sport. *Sports Med* 2001; 31: 701-15.
- Murray B. Hydration and physical performance. *J Am Coll Nutr* 2007; 26 (5): S542-S548.
- Burke L. Fasting and recovery from exercise. *Br J Sports Med* 2010; 44: 502-8.
- Hobson RM, Maughan RJ. Hydration status and the diuretic action of a small dose of alcohol. *Alcohol* 2010; 45 (4): 366-73.
- Maughan RJ, Griffin J. Caffeine ingestion and fluid balance: a review. *J Hum Nutr Diet* 2003; 16 (6): 411-20.
- Del Coso J, Estevez E, Mora-Rodríguez R. Caffeine during exercise in the heat: thermoregulation and fluid-electrolyte balance. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41 (1): 164-73.
- Scott D, Rycroft JA, Aspen J et al. The effect of drinking tea at high altitude on hydration status and mood. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91 (4): 493-8.
- Maughan RJ, Watson P, Evans GH et al. Water balance and salt losses in competitive football. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2007; 17 (6): 583-94.
- Evans GH, Shirreffs SM, Maughan RJ. Postexercise rehydration in man: the effects of osmolality and carbohydrate content of ingested drinks. *Nutrition* 2009; 25 (9): 905-13.
- Roses JM, Puyol P. Hidratación y ejercicio físico. *Apunts. Medicina de l'Esport* 2006; 41 (150): 70-7.
- De Oliveira EP, Burini RC. Food-dependent, exercise-induced gastrointestinal distress. *J Int Soc Sports Nutr* 2011; 28: 8-12.
- Jeukendrup AE, Moseley L. Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. *Scand J Med Sci Sports* 2010; 20 (1): 112-21.
- Witard OC, Jackman SR, Kies AK et al. Effect of increased dietary protein on tolerance to intensified training. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43 (4): 598-607.
- Negro M, Giardina S, Marzani B et al. Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *J Sports Med Phys Fitness* 2008; 48: 347-51.
- Kratzing C. Pre-operative nutrition and carbohydrate loading. *Proc Nutr Soc* 2011; 70 (3): 311-5.
- Urdampilleta A, Vicente-Salar N, Martínez-Sanz JM. Necesidades proteicas de los deportistas y pautas dietético-nutricionales para la ganancia de masa muscular. *Rev Esp Nutr Hum Diet* 2012; 16: 25-35.
- Easton C, Turner S, Pitsiladis YP. Creatine and glycerol hyperhydration in trained subjects prior to exercise in the heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism* 2007; 17 (1): 70-91.
- Beis LY, Polyviou T, Malkova D, Pitsiladis P. The effects of creatine and glycerol hyperhydration on running economy in well trained endurance runners. *Journal of the International Society of Sports Nutrition* 2011; 8: 24.
- Goulet EDB. Glycerol-Induced Hyperhydration: A Method for Estimating the Optimal Load of Fluid to Be Ingested Before Exercise to Maximize Endurance Performance. *Journal of Strength & Conditioning Research* 2010; 24 (1): 74-8.
- Rico-Sanz, J. Efectos de suplementación de creatina en el metabolismo muscular y energético. *Archivos de Medicina del Deporte* 1997; 61: 391-6.
- Steenge GR, Simpson EJ, Greenhaff PL. Protein- and carbohydrate-induced augmentation of whole body creatine retention in humans. *Journal of Applied Physiology* 2000; 89 (3): 1165-71.
- Position of the American Dietetic Association, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and Athletic Performance. *J Am Diet Assoc* 2009; 109: 509-27.