

## NECESIDADES DE HIDRATOS DE CARBONO EN EL DEPORTISTA DE RESISTENCIA

### NEEDS OF CARBOHYDRATES IN ENDURANCE ATHLETE

Domínguez Herrera, Raúl

Programma Oxygeno CEP (Centro de Entrenamiento Personalizado), Madrid, España.

DOMÍNGUEZ H.R. Necesidades de hidratos de carbono en el deportista de resistencia. *Mot. Hum.* 13(1): 51-56; 2012.

---

#### RESUMEN

*Los hidratos de carbono cobran especial importancia en el deporte de resistencia, debido a que son fundamentales en el metabolismo energético, sobre todo a intensidades que superan el 70% del VO<sub>2</sub> máx, ya que, a partir de dicha intensidad su contribución al aporte energético cobra cada vez mayor importancia, siendo prácticamente la única fuente energética en intensidades superiores al 95% del VO<sub>2</sub> máx y relacionándose las tasas iniciales de glucógeno con el rendimiento en pruebas submáximas hasta el agotamiento. Por tanto y visto la posibilidad de que se produzca un descenso progresivo en los niveles de glucógeno al no cubrir los requerimientos a través de la dieta, en este estudio analizaremos no solo los requerimientos de este macronutriente en los deportistas de resistencia, sino que, también, el tipo de glúcido y la forma de administración del mismo, en base a las bases fisiológicas en este tipo de deportistas.*

**Palabras clave:** *Fisiología del Ejercicio, Nutrición, Metabolismo, Entrenamiento, Resistencia.*

---

#### ABSTRACT

*Carbohydrates are especially important in endurance sport, because they are essential in energy metabolism, especially at intensities exceeding 70% of VO<sub>2</sub> max, since, from that intensity contribution to energy supply is becoming increasing importance, being practically the only source of energy at intensities above 95% of VO<sub>2</sub> max and interacting initial rates of glycogen with performance in submaximal tests to exhaustion. And therefore been the possibility that there is a progressive decrease in glycogen levels to meet requirements not through the diet, in this study, we not only the requirements of this macronutrient in endurance athletes, but also , the type of carbohydrate and the mode of administration thereof, based on the physiological basis for this type of sport.*

**Keywords:** *Exercise Physiology, Nutrition, Metabolism, Training, Endurance.*

## CLASIFICACIÓN Y FUNCIONES DE LOS HIDRATOS DE CARBONO.

Los hidratos de carbono son compuestos orgánicos que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Como fuente energética, cada gramo de carbohidrato contiene 4 kcal.

La clasificación más habitual es la siguiente:

-Hidratos de carbono simples: suele denominarse comúnmente azúcares y, a su vez, se dividen en monosacáridos (glucosa, fructosa y galactosa) y disacáridos (maltosa, lactosa y sacarosa).

-Hidratos de carbono complejos: se trata de polímeros de un gran número de monosacáridos. Pueden encontrarse en forma de almidón, celulosa y glucógeno.

En cuanto a su digestión, tanto los monosacáridos como los disacáridos, no la necesitan o es rápida, con lo que su absorción también lo es y pueden pasar al torrente sanguíneo con rapidez, provocando cambios bruscos en los niveles de glucosa si se toman en exceso y, en estos casos, cuando no se utiliza como sustrato energético, puede constituirse en grasa y almacenarse en el tejido adiposo (1). En cualquier caso, lo normal es que tras ingerir hidratos de carbono, éstos se utilicen como fuente de energía o que se almacenen como reservas de glucosa (glucógeno) en el hígado o en el músculo.

Tras lo dicho anteriormente, es de suponer que, la principal función de los hidratos de carbono, es la de servir de suministro de energía. De esta manera, algunas células corporales como las células rojas, las nerviosas en el cerebro y la retina, dependen por completo de la glucosa como fuente energética, por lo que los requerimientos en el organismo son constantes. Sin embargo en situaciones de reposo, el aporte energético proveniente de la glucosa sería solo del 15-20% de la energía (2). No obstante, en condiciones fisiológicas, como pudiera ser la práctica de ejercicio físico, podría convertirse en la principal fuente de energía, ya que, la glucosa se convierte en el combustible preferido por el músculo para la contracción muscular, sobre todo cuando la intensidad del ejercicio es elevada, llegando a aportar prácticamente toda la energía necesaria para el organismo cuando la intensidad supera el 95% del VO<sub>2</sub> máx (3). A parte de la función energética, se González habla de otras dos funciones de los hidratos de carbono en el organismo (4). Una sería la de servir de ahorro de proteínas, pues cuando disminuyen las reservas de hidratos de carbono en el organismo (glucógeno) se obtiene energía mediante la síntesis de glucosa a partir de la proteína; por tanto, podría disminuir los niveles corporales de proteínas y reducir el tejido magro y provocar una sobrecarga renal, al excretar los productos nitrogenados procedentes de las proteínas. La otra función sería la de facilitar el

metabolismo de las grasas, ya que, en situaciones de un insuficiente metabolismo de los hidratos de carbono, el cuerpo movilizaría las grasas a un ritmo superior al que puede utilizar, dando lugar a un metabolismo incompleto de las grasas y a la acumulación de cuerpos cetónicos.

Sin embargo, no debemos de olvidar que los hidratos de carbono, también, son fundamentales para un correcto funcionamiento del sistema nervioso central, ya que, constituyen el único combustible para las neuronas.

Además, de que, también, son constituyentes de estructuras corporales (formando parte de los antígenos de membrana, nucleótidos y ácidos nucleicos) (5).

### Índice glucémico

El término de índice glucémico apareció como una clasificación fisiológica para la selección de hidratos de carbono en el tratamiento de la diabetes (6) y, en la actualidad, aunque es un concepto que causa grandes controversias en la nutrición clínica, han surgido numerosos estudios que han estudiado el impacto del mismo en el rendimiento deportivo (7).

Podemos definir el índice glucémico como el área bajo la curva posprandial de la glucosa plasmática de un alimento expresada como porcentaje de un alimento de referencia que casi siempre es la glucosa (8). Por tanto, el índice glucémico expresa la rapidez mediante la cual los hidratos de carbono son absorbidos, digeridos y llegan a sangre (9).

En la actualidad el índice glucémico es definido como la respuesta glucémica frente a una carga de 25-50 gramos de glúcidos utilizables de un determinado alimento comparada con la de una carga isoglúcídica de un alimento considerado estándar (glucosa o pan blanco) (6).

En una revisión, se llega a las siguientes conclusiones acerca de la influencia en el ejercicio físico (7):

-La ingesta de hidratos de carbono de bajo índice glucémico antes del ejercicio puede incrementar el rendimiento deportivo, preservando una glucemia más estable en el curso del ejercicio.

-Es importante aportar una ingesta de hidratos de carbono de alto índice glucémico de forma fraccionada durante el ejercicio.

-La dieta posterior al esfuerzo físico debe de ser rica en hidratos de carbono de alto índice glucémico.

-Para una mayor reposición del glucógeno muscular, se requerirá un protocolo fraccionado de hidratos de carbono de alto índice glucémico en la fase aguda de recuperación del ejercicio.

-La ingesta de hidratos de carbono de bajo índice glucémico puede reducir el estrés.

DOMÍNGUEZ H.R. Necesidades de hidratos de carbono en el deportista de resistencia. *Mot. Hum.* 13(1): 51-56; 2012.

Por tanto, podemos llegar a la conclusión de recomendar la ingestión de hidratos de carbono de alto índice glucémico en las fases posteriores al entrenamiento y durante el mismo, mientras que, en el resto de comidas intentaremos optar por aquellos hidratos de carbono que contengan un menor índice glucémico.

### **Utilización de los hidratos de carbono como sustrato energético.**

Todos los hidratos de carbono que ingerimos en la dieta, se absorben como monosacáridos. La mayor parte de los mismos se convertirán en glucosa, mientras que una parte pequeña lo hará en fructosa. Tras esto, se vierten al torrente sanguíneo y el páncreas libera insulina con el fin de normalizar los niveles de la glucemia. En condiciones de reposo, los hepatocitos y las células musculares serán los encargados de captar la glucosa que, al atravesar la membrana celular experimenta una fosforilación transformándose en glucosa-6-fosfato, adquiriendo una parte negativa por lo que queda atrapada en el interior de la célula. Si la glucosa "atrapada" no se necesita se isomeriza a glucosa 1P la cual se va almacenando en la célula en forma del polímero glucógeno por acción de la glucógeno sintetasa. Este proceso es el que siguen los hidratos de carbono desde que se ingieren en la dieta hasta que llegan a almacenarse como reserva energética, denominándose glucogenogénesis.

Una vez almacenado, el glucógeno muscular no cuenta con la enzima responsable de su desfosforilación, la fosfatasa, por lo que no puede abandonar el músculo y su función será la de proveerle a éste de energía. Por el contrario, el glucógeno almacenado en el hígado sí que posee la función de desfosforilarse, por lo que puede salir de la célula hepática y dirigirse a sangre, en un proceso que se conoce con el nombre de glucogenólisis.

Por tanto, podemos ver como las reservas de glucógeno tendrán una función diferente, según se trate de glucógeno muscular o hepático. Por tanto, el primero será el encargado de administrar la energía necesaria para proveer de energía al músculo, mientras que el glucógeno hepático se encargará de controlar los niveles de glucemia. La glucosa es el único sustrato energético que puede hacerlo con o sin presencia de oxígeno, glucólisis anaeróbica o glucólisis aeróbica.

Cuando la glucosa se oxida sin presencia de oxígeno, proceso denominado glucólisis anaeróbica, se obtiene un suministro rápido de oxígeno, aunque su rentabilidad energética es baja y, además, genera y acumula ácido láctico en los músculos y líquidos corporales (10). Cabe destacar que, aunque tradicionalmente se ha culpado al lactato como el principal causante de la fatiga en el deportista de resistencia, actualmente en una revisión bibliográfica acerca del tema (11).

Pero, como es sabido, los hidratos de carbono, también, pueden oxidarse en presencia de oxígeno (glucólisis aeróbica), que es un sistema de provisión de energía más lento con una alta capacidad de aporte energético.

La utilización de la glucosa por vía oxidativa supone la combustión mitocondrial completa, mediante la participación de sus intermediarios metabólicos en el ciclo de Krebs y la transferencia de sus electrones por la cadena respiratoria hasta el aceptor final (oxígeno). Este proceso conlleva a conseguir 38 moles de ATP vs 2 de la glucólisis anaeróbica, es decir, hablando en términos de rentabilidad podemos decir que esta forma de obtención de energía es más lenta, pero más eficiente, 19 veces. El producto final de la descomposición final es CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O.

Como dijimos en un apartado anterior la contribución de los hidratos de carbono en condiciones de reposo son modestas<sup>2</sup>, sin embargo, a medida que aumenta la intensidad del ejercicio aumenta su importancia, alcanzando una contribución prácticamente única en intensidades cercanas al 95% del VO<sub>2</sub> máx<sup>3</sup>. Esto quizás, podría tener una explicación bastante lógica desde el punto de vista fisiológico y es que, los hidratos de carbono aportan 5,05 kcal a partir de un litro de oxígeno, mientras que, de las grasas por la misma cantidad de oxígeno, la obtención de energía es de 4,69 kcal (12).

En cualquier caso, lo que queda claro es que en actividades que requieran una intensidad moderada o alta, que dependerán en mayor medida de la contribución de los carbohidratos a la energía, poseer unos niveles adecuados de glucógeno antes del ejercicio y, a lo largo del mismo, sobre todo cuando se trata de deportes de una duración prolongada, como es el caso del atletismo, podría ser beneficioso (13). Esto queda reflejado en que durante esfuerzos de una intensidad del 70-85% VO<sub>2</sub> máx, el tiempo hasta el agotamiento es directamente proporcional a la concentración inicial de glucógeno muscular (14,15,16).

En un estudio (17), con diseño cruzado, se administró a un grupo de atletas dos dietas con distinto contenido en hidratos de carbono. Así, una de las dietas era rica en hidratos de carbono mientras que la otra era mixta. Los resultados de dicho estudio fue la consecución de mayores cantidades de glucógeno en el vasto lateral, así como un mayor rendimiento, invirtiendo 2 horas y 15 minutos en el grupo con dieta rica en hidratos de carbono vs las 2 horas y 33 minutos invertidas en el grupo control, siendo especialmente llamativo la velocidad de carrera fue la misma en los kilómetros 12 y 16 y disminuyendo únicamente al final de la prueba. Por tanto, queda demostrado que unos depósitos de partida de glucógeno elevados van a permitir mantener una intensidad mayor durante más tiempo, es decir, prolongar el ejercicio a una misma intensidad.

Del mismo modo, el descenso de velocidad que se produce al disminuir las reservas de glucógeno, podría identificarse como fatiga, estableciendo una relación de causa-efecto.

Además, a medida que disminuyen los niveles de glucemia en sangre y de glucógeno muscular se incrementa el uso de la proteína como fuente energética, quizás debido a una enzima que cataboliza la proteína muscular (18). Por tanto, en estos casos, se incrementarían los requerimientos proteicos que, en caso de no llegar a cubrirlos, podría dar lugar a la pérdida de proteínas endógenas, llevando a una reducción del rendimiento deportivo y sobreentrenamiento, reduciendo la masa y la fuerza muscular (19).

Del mismo modo, los niveles bajos de glucosa en sangre se han identificado con un tipo de fatiga denominada central o neuroglucopenia (20). Ésta es explicada debido a que, a medida que los niveles de glucemia disminuyen, la oxidación de los aminoácidos de cadena ramificada (fundamentalmente de leucina) se incrementan, de este modo el cociente aminoácidos de cadena ramificada/triptófano, se altera, quedando libre triptófano que, al cruzar la barrera hematoencefálica se convertirá en un precursor de la serotonina, causando de este modo fatiga.

De hecho, se ha visto que la administración de hidratos de carbono durante el ejercicio de resistencia consigue mantener los niveles de glucosa más estables, reduciendo la oxidación de los aminoácidos de cadena ramificada y mejorando la performance (21).

### **Efectos del entrenamiento de resistencia sobre el metabolismo de los hidratos de carbono.**

El entrenamiento deportivo y, en concreto el de resistencia produce adaptaciones a múltiples niveles ya sea a nivel del sistema respiratorio, del cardiocirculatorio y del metabólico (22).

En cuanto a nivel metabólico se refiere, se sabe que la densidad del volumen mitocondrial puede aumentar hasta en un 20% con entrenamiento de resistencia a una intensidad moderada (75% del VO<sub>2</sub>máx) tras seis meses de entrenamiento (22). Esto vino a aumentar lo que ya se sabía que era que el ejercicio aeróbico de baja intensidad realizado con una frecuencia semanal de 5 días a la semana, mejora hasta en un 40% el número de mitocondrias en el vasto lateral (23). Esta adaptación puede hacer por un lado que la metabolización de los hidratos de carbono durante el ejercicio aumente; pero a la vez, que aumente la posibilidad de que las grasas contribuyan del mismo modo en la obtención de energía mediante el metabolismo aerobio (24). Como sabemos, el transporte de la glucosa hacia el interior del músculo ocurre por difusión facilitada a través de la membrana celular,

siendo mediatizada por una proteína denominada GLUT que posee dos isoformas, siendo una de ellas, GLUT-4 la que regula la cantidad de glucosa que puede llegar al músculo para ser utilizada como sustrato energético. Pues bien, el entrenamiento de resistencia produce un aumento en la concentración del GLUT-4 (18). Tampoco nos hemos de olvidar que el ejercicio estimula la acción de la glucógeno sintetasa, de modo que, con el entrenamiento se consigue aumentar las reservas musculares de glucógeno (22). Además, hemos de tener presente que, aparte de poder aumentar las cantidades de glucógeno, también, se podría explicar por qué los deportistas de resistencia entrenados (que tienen mayores niveles de GLUT-4) consiguen almacenarlo dos veces más rápidos cuando se comparan con los no entrenados (25).

### **Requerimientos de hidratos de carbono en el deportista de resistencia.**

Las competiciones de atletismo de resistencia en pista, comprenden distancias que van desde los 800 metros, en las que el agotamiento de glucógeno muscular es de un 10%, hasta pruebas de 10000 metros, en donde las reservas de glucógeno oscilan en un 40% (26). Pero, no debemos de olvidar que el entrenamiento de este tipo de modalidad se caracteriza por un alto volumen de acondicionamiento aeróbico a lo largo de la temporada (en torno a los 100 km/semana para los corredores de media distancia y 150-200 km/semana para los de larga distancia) que tienen lugar en unas 3-4 horas diarias de entrenamiento y donde los períodos de recuperación entre temporadas es escaso, tan solo 2-4 semanas de recuperación activa entre temporadas (27). Esto hace pensar en que, a lo largo de la temporada si no se rellenasen continuamente las reservas de glucógeno, se podría llegar a agotar progresivamente y esto sería causa de sobreentrenamiento (28). Desde el punto de vista nutricional y para garantizar una recuperación y un rendimiento óptimo, deberemos de cubrir unos requerimientos que se necesitan para tener una resíntesis de glucógeno diaria óptima y que ayude a realizar los entrenamientos de calidad, los que se realizan a ritmo de carrera o los entrenamientos por intervalos (29).

En este sentido se realizaron dos estudios, con idea de estudiar la importancia de la cantidad de hidratos de carbono presente en la dieta en relación con los cambios que se producen en el rendimiento. En uno de ellos (30), se utilizó un diseño cruzado para comparar la eficiencia de carrera (prueba en tapiz rodante) en dos dietas con distinta cantidad de hidratos de carbono (8 g/kg/d vs 4 g/kg/d) en atletas altamente entrenados, a los que se le aumentó el volumen de entrenamiento un 150% durante 5 días. En los resultados se encontró una disminución de los niveles de glucógeno en los dos grupos, aunque en el

DOMÍNGUEZ H.R. Necesidades de hidratos de carbono en el deportista de resistencia. *Mot. Hum.* 13(1): 51-56; 2012.

grupo que contenía una dieta más rica en carbohidratos fue menor, del mismo modo el rendimiento en la prueba de rendimiento fue mejor en este grupo vs el grupo con una dieta pobre en hidratos de carbono.

En el segundo estudio (31), se sometió a los atletas, de alta capacitación, a un entrenamiento intensivo y a dos dietas con distinta cantidad de hidratos de carbono (5,4 g/kg/d y 8,5 g/kg/d), donde al final de las sesiones se les sometía a los deportistas a una prueba cronometrada en tapiz rodante de 8 o 16 kilómetros. El resultado fue que en ambos grupos se redujo, aunque, en el grupo con una dieta rica en hidratos de carbono, la pérdida de rendimiento fue menor, por lo que se dijo que puede prevenir la aparición de sobreentrenamiento.

En la revisión llevada a cabo por Burke (32), se encuentra una correlación positiva (aunque débil) entre la ingesta de hidratos de carbono de atletas (expresada en g/kg) y la energía aportada por los hidratos de carbono a la actividad.

Los estudios llevan a que las necesidades de hidratos de carbono en los atletas de resistencia se sitúen en 5 a 7 g/kg/día en los días que tiene lugar sesiones de entrenamiento moderadas, mientras que los días de entrenamiento intenso de larga duración deberían de ser de 7 a 12 g/kg/día (33).

Pero, lógicamente el tipo de hidrato de carbono es muy importante, por lo que se considera que la mayoría de éstos deben ser de tipo complejo, aunque en dietas hipercalóricas llevadas a cabo por deportistas para compensar un excesivo gasto energético producido por el entrenamiento, se aconseja el incremento del consumo de hidratos de alto índice glucémico, dada su rápida y

eficaz utilización, sobre todo durante o inmediatamente después del ejercicio (34). Por tanto, aparte de la cantidad, se unen dos factores más como son el tipo de hidrato de carbono y el momento de su ingesta.

Burke y col. (33) indican que la ingesta de hidratos de carbono debe de hacerse tan pronto como sea posible, ya que, la ingesta temprana de este macronutriente puede brindar una fuente inmediata de sustrato energético a las células musculares que pueden empezar la recuperación eficaz de la energía, y aprovechar un período de síntesis de glucógeno aumentada.

Por ello, la Federación Internacional de Atletismo (IAAF) (35), plantea como objetivo la ingesta de 1 g/kg de hidratos de carbono cada hora, durante las 4 posteriores a la prueba, con idea de optimizar las reservas de glucógeno.

Sin embargo cuando el deportista no puede o no quiere hacer tantas colaciones, se ha visto que la adicción de proteínas en las colaciones de recuperación post-entrenamiento, mejora el depósito de glucógeno, ya que, aumenta la ingesta total de energía y ahorra carbohidratos para la formación de depósitos (36).

Ivi y col. (37), indican que durante los cuarenta minutos posteriores al ejercicio la tasa de recuperación de glucógeno muscular es cuatro veces mayor si se combina una colación con hidratos de carbono y proteínas que cuando se administra cualquiera de los dos nutrientes por separado, cuando se aporta la misma cantidad de energía, aunque dicho efecto desaparece con el tiempo.

Por tanto, cuando por cualquier motivo, las colaciones de hidratos de carbono deben de hacerse en intervalos de más de una hora, existe evidencia de que se debería de ingerir hidratos de carbono junto con proteínas (38).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. González, J. Hidratos de carbono y ejercicio físico. En: González J, Villa, J. Nutrición y ayudas ergogénicas en el deporte. Madrid: Síntesis, Madrid; 2001. Pp. 55-79.
2. Zieler, K. Whole body glucose metabolism. *Am J Physiol*, 1999; 27: 409-426.
3. Fernández, A. Sistemas energéticos en el ejercicio. En: Chicharro, J. y Fernández, A. Fisiología del Ejercicio. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires; 2008. Pp. 183-221.
4. González, J., Sánchez, P. y Mataix, J. (2006). Nutrición en el deporte. Ayudas ergogénicas y dopaje. España: Fundación Universitaria Iberoamericana.

5. Blesa J, Micó L, Soriano JM. Evaluación nutricional deportiva: necesidades energéticas y nutricionales en el deporte. Unidad didáctica 4 del Máster de Cienantropometría y Nutrición Deportiva. FundacióUniversitat Empresa: Universitat de Valencia, Valencia; 2012.
6. Arteaga, A. El índice glucémico. Una controversia actual. *NutrHosp*, 2006; 21 (2): 55-60.
7. Marcelo J, López J, Pérez F. Índice glucémico y ejercicio físico. *Rev And MedDep*, 2008; 1 (3): 116-124.
8. Jiménez-Cruz A, Seimandi-Mora H, Bacardi-Gascon M. Efecto de dietas con bajo índice glucémico en hiperlipidémicos. *NutrHosp*, 2003; 6: 331-335.
9. Hollenbeck CB, Coulston AM, Reaven GM. Glycemic effects of carbohydrates: a different perspective. *Diab Care*, 1986, 9: 641-647.

10. González, J. Nutrición y ejercicio físico. En: Gil, A. Tratado de Nutrición. Editorial Médica Panamericana, Buenos Aires; 2010. Pp. 931-971.
11. Martín AM, González C, Llop F. Presente y futuro del ácido láctico. *ArchMedDep*, 2007; 120: 270-284.
12. Guerra, E. Bases fisiológicas y nutricionales en la actividad física y el deporte. M28.56.1.3. del Máster Oficial en Nutrición Humana. UGR, Granada; 2011.
13. Mora, R. Métodos y medios de recuperación de los substratos de energía. En: Terrados N, Mora R, Padilla S. La Recuperación de la Fatiga del Deportista. Gymnos, Madrid; 2004. Pp. 27-108.
14. Ahlborg B, Bergstrom J, Brohult J. Human muscle glycogen content and capacity for prolonged exercise after different diets. *Foersvarsmedicin*, 1967; 3: 85-89.
15. Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta PhysiolScand*, 1967; 19: 491-496.
16. Hermansen L, Hultman E, Saltin B. Muscle glycogen synthesis in human muscle during prolonged severe exercise. *ActaPhysiolScand*, 1967; 71: 129-139.
17. Karinsson J, Saltin B. Diet, muscle glycogen and endurance performance. *J ApplPhysiol*, 1971; 31: 203-205.
18. Williams, M.H. (2006). Nutrición: para la salud, la condición física y el Deporte. Paidotribo, Barcelona; 2006.
19. Segura, R. La dieta del deportista. Recomendaciones dietéticas. Unidad didáctica 4 del Diploma de Extensión Universitaria en Nutrición y Deporte. IL3: Universitat de Barcelona, Barcelona; 2011.
20. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J ApplPhysiol*, 1986; 61: 165-172.
21. Wagenmakers AJM, Beckers EJ, Brouns F, Kuipers H, Soeters PB, Van der Vusse GJ, Saris WHM. Carbohydrate supplementation, glycogen depletion, and amino acid metabolism during exercise. *Am J Physiol*, 1991; 260: 883-890.
22. García-Manso JM, Navarro F, Legido JC, Vitoria M. La resistencia: desde la óptica de las ciencias aplicadas al entrenamiento deportivo. Editorial Grada SportBooks; 2006.
23. Hoopeler H, Howald H, Conley K, Lindstedt SL. Endurance training in humans: aerobic capacity and structure of skeletal training. *J ApplPhysiol*, 1985; 59: 320-327.
24. Martin W. Effect of endurance training on fatty acid metabolism during whole body exercise. *Med Sc Sports Exerc*, 1997; 29: 635-639.
25. Greiwe JS, Hickner RC, Hansen PA, Racette SB, Chen MM, Holfoszy JO. Effects of endurance exercise training on muscle glycogen accumulation in humans. *J ApplPhysiol*, 1999; 78: 288-292.
26. Navarro, F. La Resistencia. Gymnos, Madrid; 1998.
27. Hawley, J.A. Running. Blackwell Science Ltd, Oxford; 2000.
28. Barbany, J.R. Fundamentos de Fisiología del ejercicio y del entrenamiento. Barcanova, Barcelona; 1990.
29. Burke, L.M. Nutrición en el Deporte: Un enfoque práctico. Panamericana, Madrid; 2010.
30. Kirwan JP, Costill DL, Mitchell JB, Houmard JA, Flynn MG, Fink WJ, Beltz JD. Carbohydrate balance in competitive runners during successive days of intense training. *J ApplPhysiol*, 1988; 65: 2601-2606.
31. Achten J, Halson SH, Moseley L, Rayson MP, Casey A, Jeukendrup AE. Higher dietary carbohydrate content during intensified running training results in better maintenance of performance and mood state. *J ApplPhysiol*, 2004; 96: 1331-1340.
32. Burke, L.M. (2001). Energy needs of athletes. *Can J ApplPhysiol*, 2001; 26: 202-219.
33. Burke LM, Kiens B, Ivy JL. Carbohydrates and fat for training and recovery. *J Sports Sci*, 2004; 22: 15-30.
34. Jeukendrup AE, Jentjens R. Oxidation of carbohydrate feedings during prolonged exercise: Current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med*, 2000; 29: 407-424.
35. Burke LM, Maughan R. Comisión Médica y Antidopaje de la IAAF. Nutrición en el Atletismo. Guía práctica de la alimentación y la hidratación para la salud y el buen rendimiento en el atletismo. 2007; IAAF.
36. Zawadzki KM, Yaspelkis BB, Yvi JL. Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J ApplPhysiol*, 1992; 72: 1854-1859.
37. Ivi JL, Goforth HW, Damno BD, McCauley TR, Parsons EG, Price TB. Early post-exercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J ApplPhysiol*, 2002; 93: 1337-1344.
38. Van Loon LJC, Saris WHM, Kruijshoop M, Wagenmakers AJM. Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: Carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *Am J ClinNutr*, 2000; 72: 106-111.

## Dirigir Correspondencia a:

Raúl Domínguez

raul\_dominguez\_herrera@hotmail.com

Calle Castillo de Simancas, 2, Las Rozas (28232). 695182853.

Madrid, España.

