



**redined**

red de bases de datos  
de información educativa

<http://www.redined.mec.es/>

## **TEXTO BILINGÜE**

---

---

**1ª parte: Versión en lengua española** 

**TEXT BILINGÜE**

---

---

 **2a part: Versió en llengua catalana**



**Palabras clave**

hidratación, deshidratación, rehidratación, rendimiento

# Hidratación y rendimiento: pautas para una elusión efectiva de la deshidratación por ejercicio

▪ **JONATAN RUIZ RUIZ**

▪ **JOSÉ LUIS MESA MESA**

Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina.  
Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.  
Universidad de Granada

▪ **FRANCISCO J. MULA PÉREZ**

Departamento de Educación Física y Deportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.  
Universidad de Granada

▪ **ÁNGEL GUTIÉRREZ SÁINZ**

▪ **MANUEL J. CASTILLO GARZÓN**

Departamento de Fisiología. Facultad de Medicina.  
Universidad de Granada

**Abstract**

*Physical and mental performance during physical exercise and sport practice is impaired in the under-hydrated individual. During physical exercise, loss of body weight is due to loss of water (transpired or perspired). This loss negatively affects different physiological systems including nervous system, cardiovascular, thermoregulation, endocrine or metabolic. In some instances, this may lead to serious consequences and even the subject death. To avoid this as well as the negative effects on physical performance, the athlete must drink enough amounts of fluids "before", "during" and "after" practicing physical exercise. Ideally, the solution should contain water, electrolytes and carbohydrates in adequate concentration to guarantee optimal performance and restore water, electrolytes and energy losses. Not only composition but other specific characteristics of the drink (palatability, temperature) are also important. In addition, extrinsic (ambient temperature, humidity, height, wind) and intrinsic factors (hydration level, gastrointestinal problems, type of exercise) must be taken into consideration. In general, coupled to sport practice, athletes do not drink enough amounts of fluid to restore their losses, so it becomes necessary to establish schemes to favor it. In this review, these schemes and the underlying physiological mechanisms are described.*

**Key words**

*hydration, dehydration, rehydration, physical performance*

**Resumen**

El rendimiento de las capacidades físicas y mental durante la práctica deportiva o la competición, está mermado bajo condiciones de deshidratación. La pérdida de peso se debe a la pérdida de agua (sudor y respiración) y cuando ésta es importante, afecta de manera decisiva a los sistemas nervioso, cardiovascular, termorregulador, endocrino y/o metabólico, pudiendo provocar incluso la muerte. Para eludir estos efectos negativos de la deshidratación así como la disminución del rendimiento, el atleta deberá beber suficiente cantidad de líquido *antes*, *durante* y *después* de la competición o la práctica de ejercicio. Idealmente, la bebida será una solución compuesta de agua, electrolitos y carbohidratos en cantidad adecuada para garantizar, por un lado, un óptimo rendimiento durante la competición y, por otro, reponer eficaz y completamente las pérdidas hídricas, electrolíticas y energéticas. La composición y el volumen de la bebida tendrá en cuenta los factores extrínsecos (temperatura, humedad, altitud, viento, etc.) que rodean la competición, los factores intrínsecos del atleta (nivel de deshidratación, problemas gastrointestinales, tipo de competición) y las propias características de la bebida (sabor, temperatura, composición). En términos generales, los atletas no suelen beber, durante la práctica deportiva, el volumen necesario



para reemplazar la pérdida de fluidos y electrolitos, lo que hace necesario establecer pautas para que lo hagan. En el presente trabajo se presentan esas pautas y la base fisiológica que las sustentan.

## Introducción

Durante la práctica deportiva intensa se suelen producir cambios agudos en la masa corporal, lo que viene provocado, principalmente, por la pérdida de agua en forma de sudor y respiración (Shirreffs, 2000). Esto puede alterar la homeostasis del volumen intra y extracelular del organismo (Kargotich *et al.*, 1998), y dar lugar a alteraciones significativas en las funciones corporales implicándose, entre otros, los sistemas nervioso, cardiovascular, termorregulador, metabólico, endocrino o excretor. Todo ello puede mermar las capacidades físicas y psíquicas durante el ejercicio (González-Alonso *et al.*, 1998; Armstrong y Epstein, 1999; Downey & Seagrave, 2000). Una deshidratación que ocasione una pérdida del 2 % del peso corporal, reduce el rendimiento aerobio (Mudambo *et al.*, 1997; Hawley & Burke, 1998; Barr, 1999; González-Alonso *et al.*, 1999). Sin embargo, la literatura no muestra datos concluyentes acerca del efecto de la deshidratación sobre la fuerza y la potencia anaerobia (Webster *et al.*, 1990; Montain *et al.*, 1998; Foued *et al.*, 2001; Gutiérrez *et*

*al.*, 2001; Ftaiti *et al.*, 2001). Cuando la deshidratación alcanza niveles del 7-10 % de pérdida de peso corporal, se puede provocar la muerte del sujeto (Hawley & Burke, 1998; Epstein & Armstrong, 1999; Naghii, 2000). (Tabla 1)

Para evitar o minimizar los efectos de la deshidratación, optimizar la performance y favorecer todos los mecanismos implicados en la defensa de la homeostasis a nivel extra e intracelular, el atleta deberá ingerir fluidos *a) antes* de la competición, para afrontar la competición en un estado de buena hidratación (euhidratación); *b) durante* la competición, para mantener el volumen sanguíneo y los sistemas cardiovascular y termorregulador (Candas *et al.*, 1988) en óptimas condiciones; *c) después* de la competición, para asegurar una correcta reposición de los fluidos perdidos durante el ejercicio y que no han podido ser reestablecidos. Todo esto asegura una rápida, eficaz y completa recuperación hídrica, electrolítica y energética (van Loon *et al.*, 2000; Bowtell *et al.*, 2000; González-Gross *et al.*, 2001; Burke, 2001) a la vez que acelera el proceso de recuperación para el día siguiente. Para ello se hace necesaria también la administración de carbohidratos inmediatamente tras la finalización del esfuerzo físico que provoquen un aumento de glucemia e insulinemia que garanticen tanto el restablecimiento del glu-

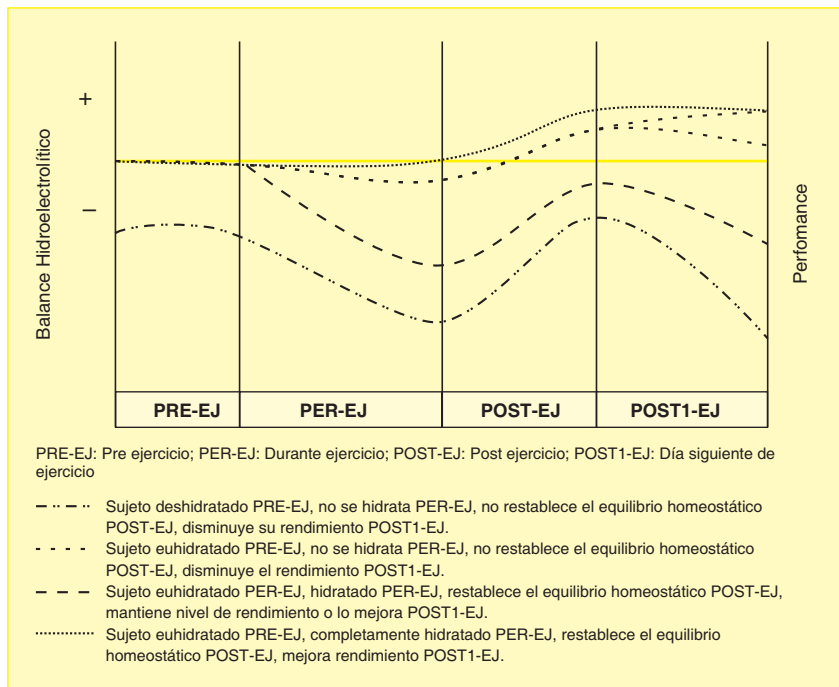
cógeno muscular como hepático (Calbet, 1999). (Figura 1)

El problema se plantea a la hora de establecer unos criterios claros y precisos de acuerdo a la cantidad, la composición, propiedades organolépticas, temperatura, y frecuencia a la que el atleta debe ingerir esa bebida, lo que se complica aún más por el hecho de que, en todos los casos, tal bebida debe adaptarse a las necesidades y características propias del atleta (edad, sexo, peso, altura, estado de nutrición y entrenamiento) (Barr, 1999; Sawka *et al.*, 1998; Naghii, 2000), y a las particularidades del ejercicio que practique (aire libre, espacio cerrado, grado de humedad, duración, acuático, etc.).

**Tabla 1.**  
Efectos de la deshidratación sobre el rendimiento físico.

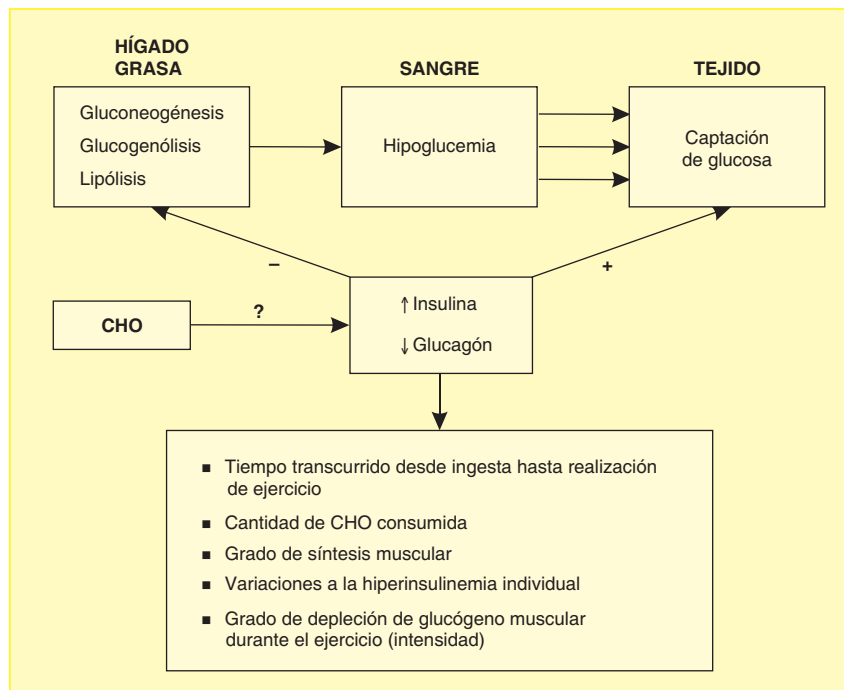
PÉRDIDA DE AGUA EN % DE LA MASA CORPORAL	EFFECTOS DE LA DESHIDRATACIÓN SOBRE EL RENDIMIENTO FÍSICO
1-3 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sed</li> <li>▪ Reducción volumen plasmático</li> <li>▪ Hipovolemia</li> <li>▪ Hemoconcentración</li> <li>▪ Insuficiencia termorreguladora</li> <li>▪ Disminuye volumen sistólico</li> <li>▪ Aumento frecuencia cardíaca</li> <li>▪ Reducción tensión arterial</li> <li>▪ Aumento de catecolaminas y cortisol</li> <li>▪ Aumento de ADH, aldosterona y angiotensina II</li> <li>▪ Aumenta la percepción del esfuerzo (RPE)</li> <li>▪ Disminuye la capacidad de esfuerzo físico</li> <li>▪ Disminuye el rendimiento aerobio</li> </ul>
4-5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hipertermia</li> <li>▪ Disminuye gasto cardíaco</li> <li>▪ Disminuye tensión arterial</li> <li>▪ Aumenta rutas glucolíticas anaerobias</li> <li>▪ Aumento de la utilización de glucógeno muscular</li> <li>▪ Aumento en la concentración de ácido láctico</li> <li>▪ Daño en la función gastrointestinal</li> <li>▪ Dificulta rendimiento aerobio</li> <li>▪ Empeora la coordinación</li> <li>▪ Fatiga por calor</li> <li>▪ Daño en la función cerebral</li> <li>▪ Asincronía de Unidades motrices</li> <li>▪ Afectado el reclutamiento de unidades motrices</li> </ul>
> 5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cefaleas</li> <li>▪ Hiponatremia</li> <li>▪ Hipokaliemia</li> <li>▪ Mareos</li> <li>▪ Dificultad para la concentración</li> <li>▪ Golpe de calor</li> <li>▪ Contracturas</li> <li>▪ Riesgo de coma</li> <li>▪ Muerte 8-10 %</li> </ul>

**Figura 1.**  
Repercusión del estado de hidratación sobre el rendimiento.



**Figura 2.**

Efectos de la hiperinsulinemia producida por ingestión de carbohidratos (CHO) (adaptado de Villa & González, 1994).



### Volumen y contenido de la ingestión pre-competición

La ingesta de bebida previa a la competición persigue garantizar un adecuado nivel de hidratación. La composición de la bebida a ingerir (contenido en carbohidratos, electrolitos, osmolaridad) no está exenta de problemas. Recientes acuerdos de instituciones relevantes en materia de Medicina del Deporte (American College of Sports Medicine, 2000) aconsejan al deportista que consuma alrededor de 500 ml de fluido durante las dos horas previas al ejercicio. Se propone una bebida equilibrada, agradable, que no retrase el vaciamiento gástrico, con una osmolaridad que no altere la del plasma sanguíneo (que es de 280-300mOsm/kg), y una concentración de 6-8 % de carbohidratos (Poleman & Peckenpaugh, 1991; McArdle *et al.*, 1993; Convertino *et al.*, 1996; Latzka & Montain, 1999). La adición de electrolitos antes del ejercicio tendrá como principal objetivo aumentar la palatabilidad de la bebida y proporcionar algo de electrolitos pero manteniendo inalterada la osmolaridad plasmática. La adición de 10-20 mmol/l de Na<sup>+</sup> y de 5-10 mmol/l de K<sup>+</sup> se considera recomendable (Combes & Hamilton, 2000). Los valores normales de Na<sup>+</sup> en plasma oscilan entre 135-145 mmol/l, y en el sudor 35,2-81 mmol/l (Shirreffs & Maughan, 1997; Marins

*et al.*, 2001). Los casos de hipo/hipernatremia e hipo/hiperkaliemia previos son muy poco frecuentes entre los deportistas, y se mantienen en rangos de normalidad con una dieta equilibrada (Combes & Hamilton, 2000; Marins *et al.*, 2001).

El problema que se plantea, cuando se ingiere una bebida con un cierto contenido en carbohidratos, es el efecto que éstos van a tener sobre la secreción de insulina y, por tanto, inhibitoria de la secreción de glucagón. Así, si en los momentos previos a la competición se toman bebidas ricas en carbohidratos, la secreción aumentada de insulina, con la consiguiente traslocación de las proteínas transportadoras de glucosa GLUT-4 en el músculo y tejido adiposo (Combes & Hamilton, 2000), su efecto inhibitorio de la glucogenólisis y neogluconeogénesis hepática y la disminución de glucagón, van a aumentar la disponibilidad periférica de glucosa y a frenar su producción hepática (Castillo *et al.*, 1996). Simultáneamente, la disminución de la razón molar insulina/glucagón va a inhibir la lipólisis, lo que ocasiona una disminución de ácidos grasos libres en circulación susceptibles de ser utilizados por la fibra muscular (Castillo, 1998). Todo esto va a ocasionar, en el momento de realizar ejercicio, la necesidad de recurrir, por parte de la fibra mus-

cular, a la utilización de su propio glucógeno, lo que trae como consecuencia una disminución del tiempo de aparición de la fatiga (Hagraeves *et al.*, 1985). En base a ello, la ingesta previa de bebidas con alto contenido en carbohidratos (>8 %) no resulta *a priori* aconsejable. El efecto de la ingestión de bebidas carbohidratadas previo a la realización de ejercicio, y su efecto sobre la respuesta hiperinsulinémica, depende del tiempo transcurrido desde la ingesta hasta la realización del ejercicio, de la cantidad de carbohidratos consumida, del grado de síntesis de glucógeno muscular, de las variaciones individuales en la respuesta a la hiperinsulinemia, y del cambio en el índice de depleción de glucógeno muscular durante el ejercicio (Combes & Hamilton, 2000), lo que está, a su vez, relacionado con la intensidad del mismo (figura 2). Otros estudios, como los presentados por Coyle (1991), Snyder *et al.* (1993) y Tarnopolsky *et al.* (1996), mostraron que los individuos que ingirieron carbohidratos (~10 % de glucosa, sacarosa o maltodextrinas, y 19,7 % de polímeros de glucosa, respectivamente) durante la hora que precede a un ejercicio de corta duración, no sufrieron las citadas consecuencias de la hiperinsulinemia y no disminuyó su rendimiento. Se han obtenido, incluso, aumentos en el rendimiento de corta duración cuando se administraba una solución con una concentración de carbohidratos 8-10 % (glucosa y fructosa) durante los 15-30 min previos a la competición (Ventura *et al.*, 1994; El-Sayed *et al.*, 1997). Por tanto, la concentración óptima de carbohidratos puede estar en torno al 8-10 %, para mantener un adecuado balance energético durante el ejercicio.

### Volumen y contenido de la bebida durante la competición

Durante la realización del ejercicio, es habitual que no se ingiera de manera voluntaria la cantidad de agua que se pierde. Esto ocurre aún cuando se aumenta la palatabilidad de la bebida (Shirreffs *et al.*, 1996; Maughan & Leiper, 1999). El volumen y la frecuencia de la ingesta de la bebida durante y tras la realización de ejercicio está influenciada por la temperatura, sabor (Wilmore *et al.*, 1998), aroma y apariencia de la misma, siendo las bebidas frías (8-12 °C) aquellas que se consumen en mayor cantidad (Shi *et al.*, 2000).



La efectividad de la restitución de fluido durante el ejercicio depende de la velocidad de vaciado gástrico y la absorción intestinal (Nose *et al.*, 1990; Costill *et al.*, 1990; Gisolfi *et al.*, 1990). De ellos, la velocidad de vaciado gástrico es el factor principal (Costill & Saltin 1974; Gisolfi *et al.*, 1990).

### Velocidad de vaciado gástrico

La velocidad de vaciado gástrico (~800ml/h) (Ryan *et al.*, 1989) depende de la osmolaridad, pH, y temperatura de la disolución (Shi *et al.*, 2000), intensidad del ejercicio, volumen de la ingesta y aporte calórico (Maughan & Leiper, 1999) siendo éste último, un factor decisivo hasta el extremo que existe una relación lineal entre densidad calórica y velocidad de vaciamiento gástrico. (Murray *et al.*, 1999; Gisolfi *et al.*, 1998; Calbet, 1999). A intensidades superiores al 70 %  $\dot{V}O_{2max}$ , la intensidad del ejercicio parece afectar negativamente a la velocidad de vaciado gástrico (Cheung *et al.*, 2000). Una intensidad menor del 70-75 %  $\dot{V}O_{2max}$  no retrasa el vaciamiento gástrico (Brouns *et al.*, 1987; Costill, 1990). Incluso, se ha mostrado que cuando los sujetos caminaban o corrían a una intensidad menor del 70 %  $\dot{V}O_{2max}$ , la velocidad de vaciado gástrico aumentaba respecto a cuando los sujetos permanecían en reposo (Neufer *et al.*, 1989a). Esto se atribuyó a la movilidad gastrointestinal provocada por los movimientos corporales propios de la actividad. Intensidades superiores (75-100 %), pueden comprometer el vaciamiento gástrico, retrasando la absorción de fluidos en el intestino, principalmente por el aumento de la sollicitación del flujo sanguíneo por los grupos musculares que están desarrollando el esfuerzo físico, lo que va a disminuir el flujo sanguíneo al aparato digestivo e intestinal, provocando un descenso en la velocidad del vaciado gástrico (Costill & Saltin, 1974; Ryan *et al.*, 1989; Galloway & Maughan, 1997; Cheung *et al.*, 2000). Las altas temperaturas ambientales también disminuyen de forma significativa el nivel de vaciado gástrico (Neufer *et al.*, 1989b).

### Absorción intestinal

Los factores que afectan la absorción intestinal de agua, carbohidratos y electrolitos, son múltiples (Coombes *et al.*, 2000). Durante el ejercicio, se pueden

llegar a absorber entre 1,9 y 2,3 l/h (González & Villa, 1998). La presencia de  $Na^+$  y carbohidratos en la bebida mejora su absorción mutua debido al mecanismo de co-transporte por el que glucosa y sodio se absorben a nivel intestinal, lo que se potencia con la adición de cloruro (Gisolfi, 1994; Reuss, 2000). El  $Na^+$ , además, mejora la palatabilidad de las soluciones aumentando su consumo *ad libitum*. Esto, además, contribuye al mantenimiento de la osmolaridad plasmática (Gisolfi 1994; Shirreffs, 1998). El tipo de solutos añadidos a la solución, la osmolaridad que determinan y su nivel de digestibilidad pueden influir en la velocidad de su absorción a través del intestino (Coombes *et al.*, 2000). En este sentido, resulta difícil combinar los distintos tipos y cantidades de carbohidratos en la bebida, dadas las diferentes respuestas que pueden ocasionar en el deportista. Un contenido intestinal con una elevada osmolaridad va a retrasar la absorción intestinal, incluso puede atraer agua desde el intersticio hacia la propia luz y aumentar el tránsito intestinal ocasionando diarrea. En general, la absorción de fluido no se ve disminuida hasta concentraciones del 8 %, siendo esta absorción superior a la que se consigue cuando se bebe agua sola (Fordtran, 1975; Leiper & Maughan, 1988). Esto se

explica por el arrastre de solvente que los solutos (glucosa y sodio, principalmente) ejercen cuando ya se encuentran en el lado baso-lateral de la célula. A ese espacio será atraída el agua desde la luz intestinal pasando a través de la hendidura intercelular. De la misma forma, vehiculados con el agua irán algunos solutos que tenga disueltos, mecanismo conocido como arrastre por solvente. En definitiva, se produce un arrastre mutuo de solvente y solutos. En consecuencia, es conveniente adaptar la composición de la bebida y el tipo de carbohidratos que contiene, para conseguir la mayor absorción de agua y sodio con el mínimo impacto en la osmolaridad y en la homeostasis intestinal.

### Composición de la bebida

El aporte de carbohidratos justo al inicio del ejercicio y a lo largo del ejercicio puede contribuir a preservar el glucógeno muscular en esfuerzos prolongados, en esfuerzos interválicos y esfuerzos de corta duración y elevada intensidad (80-95 %) (Villa & González, 1994; Balsom *et al.*, 1999). El volumen de líquido a ingerir variará de acuerdo a la cantidad de fluido que pretendemos beber para cada concentración de carbohidratos (Villa & González, 1994; Hawley & Burke, 1998). (Tabla 2).

**Tabla 2.**

Balace de fluido (ml/hr) para cada concentración de carbohidratos, expresado en % (g/ml) y en g/hr (adaptado de Hawley & Burke).

CONCENTRACIÓN CHO % (g/100 ml)	CONCENTRACIÓN DE CARBOHIDRATOS (g/hr)						VOLUMEN (ml/hr)
	30 g/hr	40 g/hr	50 g/hr	60 g/hr	70 g/hr	80 g/hr	
2	1.500	2.000	2.500	3.500	3.500	4.000	
4	750	1.000	1.250	1.500	1.750	2.000	
5	600	800	1.000	1.200	1.400	1.600	
6	500	670	830	1.000	1.170	1.340	
7	430	570	715	860	1.000	1.140	
8	375	500	625	750	875	1.000	
10	300	400	500	600	700	800	
12	250	330	420	500	580	670	
15	200	270	330	400	470	530	
20	150	200	250	300	350	400	
25	120	160	200	240	280	320	
50	60	80	100	120	140	160	
75	40	53,3	66,7	80	93,3	106,6	

**Tabla 3.**

Cálculos de la pérdida de fluido por sudor y balance de fluido durante el ejercicio ( $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 1000 \text{ ml}$  de agua) (Hawley & Burke, 1998).

1. **Cambio de la masa corporal (kg)** = peso corporal antes del ejercicio – peso corporal después del ejercicio (tras secado).
2. **Fluido ingerido (ml)** = volumen de fluido antes del ejercicio – volumen de fluido tras el ejercicio.
3. **Pérdida de orina (ml)** = peso corporal antes de orinar – peso corporal después de orinar.
4. **Pérdida total de sudor durante el ejercicio (ml)** = cambio de la masa corporal ( $\text{kg} \times 1000$ ) + fluido ingerido (ml) – pérdida de orina.
5. **Índice de sudor (ml/hr)** = pérdida total de sudor / duración del ejercicio (hr).
6. **Déficit de fluido (ml)** = cambio en el peso corporal ( $\text{kg} \times 1000$ ).
7. **% de deshidratación** = cambio en el peso corporal (kg) / peso corporal antes del ejercicio (kg)  $\times 100$ .

Para eventos que duren menos de una hora, se propone una ingesta de líquido de 300-500 ml al 6-10 % de concentración de carbohidratos, cada 15 minutos y a una temperatura de 5-15° C, aunque algunos estudios indican que para eventos de duración <1 h no es necesario la ingesta de fluidos (Maughan & Noakes, 1991). Para eventos de entre 1-3 h., se propone la ingesta de 800-1600 ml/h. con una concentración de 6-8 % de carbohidratos, y con 10-20mmol/L de Na<sup>+</sup>. Para eventos de más de 3h (Gisolfi & Duchman, 1992; Latzka & Montain, 1999; González-Gross *et al.*, 2001) se reduce el volumen hasta 1000 ml y se aumenta la concentración de Na<sup>+</sup> hasta 20-30 mmol/l. La reposición de sodio debería ser mayor (~1g/l) cuando la ingestión de líquido supera los 4-5 l durante un ejercicio al 50-60 % VO<sub>2max</sub> realizado en ambientes de 37- 38 °C (Villegas, 1998). La osmolaridad, no debería sobrepasar los 280mOsm/kg, para garantizar un adecuada absorción y transporte de agua (Gisolfi *et al.*, 1992; Sawka *et al.*, 1998; Brouns *et al.*, 1998; Maughan, 1999). De esta forma reemplazaremos, al menos en parte, las pérdidas de líquido, electrolíticas y de sustratos energéticos en eventos de larga duración, ya que durante una hora de ejercicio de baja intensidad, un sujeto puede perder de 1 a 2 litros de sudor, aumentando hasta 2,5-3 l cuando éste se realiza a altas intensidades y en ambientes calurosos (Sawka *et al.*, 1998). La inclusión de potasio en las bebidas isotónicas no se considera relevante (Amat, 1998). La aparición de hipokaliemia entre los atletas es infrecuente, teniendo en cuenta que la reposición de este electrolito a través de la dieta suele ser adecuada (Shephard, 1988; Gastmann *et al.*, 1998).

### **Volumen y contenido de la ingestión de líquidos post-competición**

#### **Mecanismos de la sed**

La restauración corporal de fluido está regulado por diferentes sistemas de señales aferentes que estimularán la sed y/o el apetito de sodio (Schulkin, 1991; Jhon, 1998). Las neuronas osmorreceptoras, son estimuladas con pequeños aumentos de la osmolaridad plasmática ejerciendo un intenso control sobre la secreción de ADH y sobre la sed (Mack, 1998; Fitzsimons, 1998). El descenso de la presión arterial, hipovolemia, o disminución del volumen del líquido extracelular, tal y como se desarrolla en un individuo en estado de deshidratación, estimula la sed a través de una vía dependiente a la anterior (Armstrong & Epstein, 1999). La angiotensina II y la ADH (hormona anti-diurética), estimuladas por factores asociados al aumento de la osmolaridad extracelular, a la hipovolemia y a la baja presión sanguínea, aumentan la absorción intestinal a la vez que actúan sobre el órgano vasculoso de la lámina terminal, íntimamente implicado con la mediación de la respuesta a la sed (Fitzsimons, 1998; Jhon, 1998). La sed, es un reflejo tardío de las condiciones deficitarias de los compartimentos líquidos del cuerpo (Mack, 1998), que puede estar alterado o difuminado durante la competición. Se deberá realizar una precisa calibración de la composición de la bebida, encaminada a provocar un aumento de la ingesta, para asegurarnos de una adecuada rehidratación y una completa restauración de los líquidos, electrolitos, y depósitos de glucógeno (Wagner, 2001).

La composición de la bebida post competición variará en función del tiempo e intensidad del ejercicio precedente, y de las condiciones ambientales en las que se desarrolló, estableciendo como criterio esencial, que el consumo sea igual o mayor que la pérdida por sudor (Maughan *et al.*, 1997). (Tabla 3)

### **Carbohidratos y síntesis de glucógeno**

Tras realizar un esfuerzo muscular de más de 1 hora, las reservas de glucógeno muscular pueden quedar deplecionadas (pérdida en torno al 90 %) (Villa & González, 1994; Latzka & Montain, 1999; ACSM, 2000). Para restablecer los niveles de glucógeno muscular, se precisa un aumento exógeno de sustratos al músculo esquelético y una aumentada actividad de la resíntesis muscular de glucógeno (Calbet, 1999). Para acelerar este restablecimiento, se deberá aumentar la glucemia y, en consecuencia, la insulina, potenciándose el efecto de las distintas hormonas anabólicas (insulina, testosterona, hormona del crecimiento) y la acción del péptido GLP-1, para estimular la síntesis de glucógeno hepático y muscular. En estas condiciones se podrá realizar una nueva sesión de entrenamiento o competición en óptimas condiciones (Calbet, 1999; Delgado *et al.*, 1999; Bilzon *et al.*, 2000; Wong *et al.*, 2000; van Loon *et al.*, 2000a; Wagner, 2001).

Incluso en aquellas situaciones en las que nuestro único objetivo sea la rehidratación y restaurar el balance hídrico, la adición de una pequeña cantidad de carbohidratos (<2 %) puede mejorar el índice de absorción intestinal de sodio y agua (Maughan & Shirreffs, 1997).

La síntesis de glucógeno muscular post ejercicio, es el factor clave para determinar el tiempo que necesita el atleta en recuperarse tras un ejercicio de larga duración (van Loon *et al.*, 2000a). La capacidad de recuperación del glucógeno es máxima durante la primera hora después del ejercicio (Wooton, 1990), no llegando a reinstaurarse completamente hasta las 24-48h posteriores (Coyle *et al.*, 1997). La osmolaridad del fluido (Piehl *et al.*, 2000) y el índice glucémico (debiendo ser moderado o alto) (Walton *et al.*, 1997) (tabla 4) repercutirán en la velocidad de síntesis del glucógeno, minimizando al máximo el contenido de grasas, proteínas y fibra, al objeto de evitar problemas gastrointestinales (Villa & González, 1994; Hawley & Burke, 1998). Las





bebidas isosmóticas son las más aptas para asegurar una máxima absorción intestinal (Gisolfi *et al.*, 1992; Sawka *et al.*, 1998; Brouns *et al.*, 1998; Maughan, 1999).

La adición de una mezcla de proteínas hidrolizadas y aminoácidos a la bebidas carbohidratadas es cada vez más frecuente para transformar en anabólico el ambiente hormonal y así aumentar la velocidad de resíntesis de glucógeno y proteínas (Calbet, 1999; van Loon *et al.*, 2000a; van Loon, *et al.*, 2000b). Así, se ha visto que tras provocar una depleción completa de las reservas de glucógeno, la velocidad de resíntesis fue de  $35,4 \pm 5,1 \mu\text{moles de glicosol} \cdot \text{g seco wt/l/h}$  cuando se usaba una solución carbohidratada ( $0,8 \text{ g/kg/h}$ ) que contenía proteína hidrolizada y aminoácidos esenciales (leucina y fenilalanina), frente a una velocidad de resíntesis de  $16,6 \pm 7,8 \mu\text{moles de glicosol} \cdot \text{g seco wt/l/h}$  cuando se usaba una solución que sólo contenía carbohidratos ( $0,8 \text{ g/kg/h}$ ) (van Loon *et al.*, 2000a). La síntesis de glucógeno fue incluso mayor ( $44,8 \pm 6,8 \mu\text{moles de glicosol} \cdot \text{g seco wt/l/h}$ ) cuando se incrementó la concentración de carbohidratos hasta  $1,2 \text{ g/kg/h}$  (van Loon *et al.*, 2000a). Tras 2 h de ejercicio (con la finalidad de provocar una depleción de glucógeno), la ingesta de 330 ml de una solución glucosada al 18,5 % más 8 g de glutamina, repuso un 25 % más de glucógeno hepático y muscular, que una solución glucosada (Bowtell *et al.*, 1999). Igualmente, la incorporación de 0,08 g/kg de clorhidrato de arginina junto con 1 g/kg de carbohidratos, aumentó la resíntesis muscular de glucógeno (Yaspelkis & Ivy, 1999) debido a un menor índice oxidativo postejercicio de carbohidratos. La ingesta de 2 g/kg de carbohidratos (10 %) tras pedalear recostado al 75 %  $\text{VO}_{2\text{max}}$  atenuó la respuesta de la fosfatidilinositol 3-quinasa, y aumentó la actividad de la glucógeno sintasa, disminuyendo el metabolismo oxidativo, lo que facilitó la restauración de los depósitos de glucógeno (O’Gorman, 2000).

El tipo de carbohidrato incorporado a la bebida también es determinante para restablecer completamente los depósitos de glucógeno (Bowtell *et al.*, 2000). Se ha mostrado que una ingesta de 330ml de fluido con una concentración 18,5 % de polímeros de glucosa (61 g), provocaba un mejor restablecimiento de los depósitos de glucógeno muscular y hepático, que el obtenido con sacarosa (18,5 % o al 12 %) (Bowtell *et al.*, 2000). La ingestión de 1g de glucosa o sacarosa por kilogramo de peso corporal es suficiente para asegurar una repleción

de los depósitos de glucógeno hepático ( $P < 0,05$ ), lo que no se produjo con la síntesis de glucógeno muscular (Casey *et al.*, 2000).

### Electrolitos: sodio, potasio, cloruro

Todos los autores coinciden en afirmar la importancia de añadir elevadas cantidades de  $\text{Na}^+$  (50-60 mmol/l) en la bebidas postejercicio, concluyendo que la rehidratación postejercicio sólo se completará, si los niveles de electrolitos (principalmente del  $\text{Na}^+$ , y en menor medida  $\text{K}^+$  y  $\text{Cl}^+$ ), perdidos por el sudor, son reemplazados completamente (Maughan & Shirreffs, 1997; Armstrong & Epstein, 1999). El  $\text{Na}^+$ , debido a su implicación con el mecanismo de co-transporte de la molécula de glucosa, la absorción intestinal y la palatabilidad, descritos anteriormente, hace imprescindible su presencia en las bebidas postejercicio (Maughan & Shirreffs, 1997; Maughan *et al.*, 1997; Armstrong & Epstein, 1999). La ingesta recomendada es de 50-60mmol/l, pudiendo aumentar hasta 100mmol/l (Shirreffs & Maughan, 1998b). El nivel de aptitud física y la aclimatación parecen influir en los niveles de pérdida de  $\text{Na}^+$ , aumentando las pérdidas en los no entrenados (hasta 100 mmol/l), lo que disminuye en personas entrenadas hasta 10mmol/l (Marins *et al.*, 2001). En la práctica habitual se puede esperar una pérdida de entre 0,5-2g de  $\text{Na}^+$ /l de sudor (Amat, 1998). Los cuadros de hiponatremia son poco frecuentes. Sin embargo, la ingesta de barbitúricos, alcohol, diuréticos (muy comunes en los luchadores) puede desembocar en vómitos, delirio, espasmos abdominales, alucinaciones, taquicardias (Marins *et al.*, 2001), e incluso la muerte, alcanzando un índice de mortalidad alrededor del 50 % según ha sido publicado (Baylis, 1980).

La presencia de potasio en las soluciones tiene como principal objetivo ayudar a la retención de agua intracelular, además de reponer la cantidad de potasio perdida por el sudor (Maughan *et al.*, 1996), aunque Amat (1998) no considera importante su inclusión en las bebidas. Villegas *et al.* (1995) comunica que, en cualquier caso, y debido al bajo índice de desarrollo de hipokaliemia, la bebida no debe exceder en su contenido, una cantidad de 10 mmol/l.

### Conclusión

Para eludir los efectos negativos de la deshidratación sobre el rendimiento, el atleta

debe beber suficiente cantidad de líquido “antes”, “durante”, y “después” del ejercicio. Idealmente, la bebida será una solución compuesta de carbohidratos y electrolitos en cantidad adecuada para garantizar un óptimo rendimiento y reponer eficazmente las pérdidas hídricas, electrolíticas y energéticas sufridas. Para conseguirlo es preciso, por un lado, conocer en profundidad los mecanismos fisiológicos implicados y, por otro, individualizar los aportes a las circunstancias particulares de cada caso y situación.

**Tabla 4.**  
Índice glucémico de algunos alimentos.

ALIMENTO	ÍNDICE GLUCÉMICO
<b>Azúcares</b>	
Glucosa	138
Miel	87
Sacarosa	86
Fructosa	20
<b>Vegetales</b>	
Patata asada	135
Judías blancas	115
Nabos	98
Zanahorias	90
Boniato	48
Alubias	30
Lentejas	25
Soja	15
<b>Fruta</b>	
Pasas	93
Dátiles	72
Plátano	65
Naranjas	40
Manzanas	36
<b>Cereales</b>	
Copos de maíz	119
Copos de avena	109
Pan blanco	100
Pan integral	100
Cornflakes	85
Arroz blanco	83
Arroz integral	60
Espaguetis	56
Garbanzos	49
Lentejas	43
Espaguetis integrales	40

## Bibliografía

- Amat, O.: *Nutrición, salud y rendimiento deportivo*, Barcelona: Espaxs, 1998 (2.ª ed.).
- American college of sports medicine: "Joint Position Statement: nutrition and athletic performance, American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dieticians of Canada", *Med Sci Sports Exerc*, 32, vol. 12 (2000), pp. 2130-2145.
- Armstrong, L. E. y Epstein, Y.: "Fluid-Electrolyte Balance During Labor and Exercise: Concepts and Misconceptions", *Int J Sport Nutr*, 9, vol. 1 (1999), pp. 1-12.
- Balsom, P. D.; Wood, K.; Olsson, P. y Ekblom: "Carbohydrate intake and multiple sprint sports: With special reference to football (soccer)", *Int J Sports Med*, 20 (1999), pp. 48-52.
- Baylis, P. H.: "Hiponatremia and hipernatremia", *Clin Endo Ex*, 9, vol. 3 (1980), pp. 625-637.
- Barr, S. I.: "Effects of dehydration on exercise performance", *Can J Appl Physiol*, 24, vol. 2 (1999), pp. 164-172.
- Bilzon, J. L.; Allsopp, A. J. y Williams, C.: "Short-term recovery from prolonged constant pace running in a warm environment: the effectiveness of a carbohydrate- electrolyte solution", *Eur J Appl Physiol*, 82, vol. 4 (2000), pp. 305-312.
- Bowtell, J. L.; Gelly, K.; Jackman, M. L.; Patel, A.; Simeoni, M. y Rennie, M. J.: "Effect of oral glutamine on whole body carbohydrate storage during recovery from exhaustive exercise", *J Appl Physiol*, 86, vol. 6 (1999), pp. 1770-1777.
- Bowtell, J. L.; Gelly, K.; Jackman, M. L.; Patel, A.; Simeoni, M. y Rennie, M. J.: "Effect of different carbohydrate drinks on whole body carbohydrate storage after exhaustive exercise", *J Appl Physiol*, 88, vol. 5 (2000), pp. 1529-1536.
- Brouns, F.; Saris, W. H. M. y Rehrer, N. J.: "Abdominal complaints and gastrointestinal function during long lasting exercise", *Int J Sports Med*, 8 (1987), pp. 175-189.
- Brouns, F.; Kovacs, E. M. y Senden, J. M.: "The Effect of Different Rehydration Drinks on Post-Exercise Electrolyte Excretion in Trained Athletes", *Int J Sports Med*, 19, vol. 1 (1998), pp. 56-60.
- Burke, L. M.: "Nutritional needs for exercise in the heat", *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 128, vol. 4 (2001), pp. 735-748.
- Calbet, J. A.: "Papel de la alimentación como alternativa al dopaje", en *Conferencia Nacional sobre el Dopaje*, Pamplona, 21-22 enero 1999, pp. 58-63.
- Candas, V.; Libert, J-P. y Bradenberg, G.: "Thermal and circulatory responses during prolonged exercise at different levels of hydration", *J Physiol*, 83, Paris (1988), pp. 11-18.
- Casey, A.; Mann, R.; Banister, K.; Fox, J.; Morris, P. G.; McDonald, I. A. y Greenhaff, P. L.: "Effect of carbohydrate ingestion on glycogen resynthesis in human liver and skeletal muscle, measured by (13)C MRS", *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 278, vol. 1 (2000), pp. E65-E75.
- Castillo M. J.: "Diabetes Mellitus: De la Fisiología a la Clínica", *Invest Clin*, 5, vol. 1 (1998), pp. 119-131.
- Castillo, M. J.; Scheen, A. J.; Paolisso, G. y Lefebvre, P. J.: "Exhaustion of blood glucose response and enhancement of insulin response after repeated glucagon injections in type-2 diabetes: Potentiation by progressive hyperglycemia", *Ann Endocrinol*, 57 (1996), pp. 395-402.
- Cheung, S. S.; McLellan, T. M. y Tenaglia, S.: "The thermophysiology of uncompensable heat stress. Physiological manipulations and individual characteristics", *Sports Med*, 29, vol. 5 (2000), pp. 329-359.
- Convertino, V. A.; Armstrong, L. E.; Coyle, E. F.; Mack, G. W.; Sawka, M. N.; Senay, L. C. y Sherman, W. M.: "American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement", *Med Sci Sports Exerc*, 28, vol. 1 (1996), pp. I-VII.
- Coombes, J. S. y Hamilton, K. L.: "The Effectiveness of Commercially Available Sports Drinks", *Sports Med*, 29, vol. 3 (2000), pp. 181-209.
- Costill, D. L.: "Gastric emptying of fluid during exercise", in C.V. Gisolfi and DR Lamb (eds.), *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, Carmel IN: Brown & Benchmark (*Fluid Homeostasis During Exercise*, vol. 3 (1990), pp. 129-180).
- Costill, D. L. y Saltin, B.: "Factors limiting gastric emptying during rest and exercise", *J Appl Physiol*, 37 (1974), pp. 679-683.
- Coyle, E. F.: "Timing and method in increased carbohydrate intake to cope with heavy training competition and recovery", *J Sports Sci*, 9 (1991), pp. 29-52.
- Coyle, E. F.; Jeukendrup, A. E.; Wagenmakers, A. J. y Saris, W. H.: "Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise", *Am J Physiol*, 273 (1997), pp. 238-275.
- Delgado M.; Gutiérrez A. y Castillo M. J.: (1999) *Entrenamiento físico-deportivo y alimentación. De la infancia a la edad adulta*, Barcelona: Paidotribo, 1999 (2.ª edición).
- Downey, D. y Seagrave, R. C.: "Mathematical modelling of the human body during water replacement and dehydration: body water changes", *Ann Biomed Eng*, 28, vol. 3 (2000), pp. 278-290.
- El-Sayed, M. S.; Balmer, J. y Rattu, A. J.: "Carbohydrate ingestion improves endurance performance during 1 hour simulated cycling time trial", *J Sports Sci*, 15, vol. 2 (1997), pp. 223-230.
- Epstein, Y. y Armstrong, L.: "Fluid-electrolyte balance during labour and exercise: Concepts and misconceptions", *Int J Sport Nutr*, 9 (1999), pp. 1-12.
- Fitzsimons, J. T.: "Angiotensin, thirst, and sodium appetite", *Physiol Rev*, 78, vol. 3 (1998), pp. 583-686.
- Fordtran, J. S.: "Stimulation of active and passive sodium absorption by sugars in the human jejunum", *J Clin Lab Invest*, 55 (1975), pp. 728-737.
- Foued, F.; Grélot, L.; Coudreuse, J. M. y Nicol, C.: "Combined effects of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans", *Eur J Appl Physiol*, 84 (2001), pp. 87-94.
- Ftaiti, F.; Grelot, L.; Coudreuse, J. M. y Nicol, C.: "Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans", *Eur J Appl Physiol*, 84, vol. 1-2 (2001), pp. 87-94.
- Galloway, S. D. R. y Maughan, R. J.: "Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man", *Med Sci Sports Exerc*, 29 (1997), pp. 1240-1249.
- Gastman, U.; Dimeo, F.; Huonker, M.; Böcker, J.; Steinacker, JM. y Lehmann, M.: "Ultra-triathlon-related blood-chemical and endocrinology responses in nine athletes", *J Sports Med Phys Fit*, 38 (1998), pp. 18-23.
- Gisolfi, C. V.: "Ejercicio, absorción intestinal y rehidratación en el deporte", *Archivos de Medicina del Deporte*, 10, vol. 42 (1994), pp. 195-200.
- Gisolfi, C. V.; Summers, R. W. y Schedl, H. P.: "Intestinal absorption of fluids during rest and exercise", en C. V. Gisolfi and DR Lamb (eds.), *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, Carmel, IN: Brown & Benchmark (*Fluid Homeostasis During Exercise*, vol. 3, 1990, pp. 129-180).
- Gisolfi, C. V.; Summers, R. W. y Schedl, H. P.: "Intestinal water absorption from select carbohydrate solutions in humans", *J Appl Physiol*, 73, vol. 5 (1992), pp. 2142-2150.
- Gisolfi, C. V. y Duchman, S. M.: "Guidelines for optimal replacement beverages for different athletic events", *Med Sci Sports Exerc*, 24, vol. 6 (1992), pp. 679-687.
- Gisolfi, C. V.; Summers, R. W.; Lambert, G. P. y Xia, T.: "Effect of beverage osmolality on intestinal fluid absorption during exercise", *J Appl Physiol*, 85, vol. 5 (1998), pp. 1941-1948.
- González-Alonso, J. y Coyle, E. F.: "Efectos fisiológicos de la deshidratación. ¿Por qué los deportistas deben ingerir líquidos durante el ejercicio en el calor?", *Apunts, Educación Física y Deportes*, 4 (1998), pp. 46-52.
- González-Alonso, J.; Teller, C.; Andersen, S. L.; Jensen, F. B.; Hyldig, T. y Nielsen, B.: "Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat", *J Appl Physiol*, 86 (1999), pp. 1032-1039.
- González Gallego, J. y Villa Vicente, J. G.: *Nutrición y ayudas ergogénicas en el deporte*, Madrid: Ed. Síntesis, 1998.
- González-Gross, M.; Gutiérrez, A.; Mesa, J. L. M. y Castillo, M. J.: "La nutrición en la práctica deportiva", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, sometido, 2001.
- Gutiérrez, A.; Mesa, J. L. M.; Ruiz, J. R. y Castillo, M. J.: "Carbohydrate drink is useful to maintain strength performance after sauna induced rapid weight loss", *Int J Sport Nutr* (2001), sometido.
- Hagraeves, M.; Costill, D. L. y Katz, A.: "Effect of fructose ingestion on muscle glycogen usage anaerobic exercise", *Med Sci Sports Exerc*, 17, vol. 3 (1985), pp. 360-363.
- Hawley, J. y Burke, L.: *Peak performance: Training and nutritional strategies for sport*, National Library of Australia: Ed. Allen & Unwin. National Library of Australia, 1998.
- Jhon, B.: "Recovery after exercise in the heat- factors influencing fluid intake", *Int J Sports Med*, 19 (1998), pp. 139-141.
- Kargotich, S.; Goodman, C.; Keast, D. y Morton, A. R.: "The influence plasma volume changes on the interpretation of biomechanical parameters used for monitoring exercise, training and





- sport", *Sports Med*, 26, vol. 2 (1998), pp. 101-117.
- Latzka, W. A., Montain, S. J.: "Water and electrolyte requirements for exercise", *Clin Sports Med*, 18, vol. 3 (1999), pp. 513-524.
- Leiper, J. B. y Maughan, R. J.: "Effect of bicarbonate or base precursor on water and solute absorption from glucose-electrolyte solution in the human jejunum", *Digestion*, 41, vol. 1 (1988), pp. 39-45.
- Marins, J. C.; Dantas, E. H. y Navarro, S. Z.: "Variaciones del sodio y potasio plasmáticos durante el ejercicio físico: Factores asociados", *Apunts, Educación Física y Deportes*, 62, pp. 48-55.
- Mack, G. W.: "Recovery after exercise in the heat-factors influencing fluid intake", *Int J Sports Med*, 19 (1988), pp. S139-141.
- Mcardle, W. D.; Katch, F. I. y Katch, V. L.: *Exercise physiology; energy, nutrition and human performance*, Philadelphia: Lea and Febiger, 1993 (3.ª edición).
- Maughan, R. J.: "Exercise in the heat: limitations to performance and the impact of fluid replacement strategies. Introduction to the symposium", *Can J Appl Physiol*, 24, vol. 2 (1999), pp. 149-151.
- Maughan, R. J. y Leiper, J. B.: "Limitations to fluid replacement during exercise", *Can J Appl Physiol*, 24, vol. 2, pp. 173-187.
- Maughan, R. J.; Noakes, T. D.: "Fluid replacement and exercise stress: A brief review of studies on fluid replacement and some guides for the athlete", *Sports Med*, 12 (1991), pp. 16-31.
- Maughan, R. J.; Leiper, J. B. y Shirreffs, S. M.: "Factors Influencing the Restoration of Fluid and Electrolyte Balance After Exercise in the Heat", *Br J Sports Med*, 1, vol. 3 (1997), pp. 175-182.
- Maughan, R. J. y Shirreffs, S. M.: "Recovery from Prolonged Exercise: Restoration of Water and Electrolyte Balance", *J Sports Sci*, 15, vol. 3 (1997), pp. 297-303.
- Montain, S. J.; Smith, S. A.; Mattot, R. P.; Zienzara, G. P.; Jolesz, F. A. y Sawka M. N.: "Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a <sup>31</sup>P-MRS study", *J Appl Physiol*, 84, vol. 6 (1998), pp. 1889-1894.
- Mudambo, K. S. M. T.; Leese, G. P. y Rennie, M. J.: "Dehydration in soldiers during walking/running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during a after exercise", *Eur J Appl Physiol*, 76 (1997), pp. 517-524.
- Murray, R.; Bartoli, W.; Stofan, J.; Horn, M. y Eddy, D.: "A comparison of the gastric emptying characteristics of selected sports drinks", *Int J Sport Nutr*, 9, vol. 3 (1999), pp. 263-274.
- Naghii, M. R.: "The significance of water in sport and weight control", *Nutr Health*, 14, vol. 2, pp. 127-132.
- Neufer, P. D.; Young, A. J. y Sawka, M. N.: "Gastric emptying during walking and running: effects of varied exercise intensity", *Eur J Appl Physiol*, 58 (1989a), pp. 440-445.
- Neufer, P. D.; Young, A. J. y Sawka, M. N.: "Gastric emptying during exercise: effects of heat stress and Hypohydration", *Eur J Appl Physiol*, 58 (1989b), pp. 433-439.
- Nose H.; Mack G. W.; Shi X. y Nadel E. R.: "Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans", *J Appl Physiol*, 65 (1990), pp. 325-331.
- O'Gorman, D. J.; Del Águila, L. F.; Williamson, D. L.; Krishnan, R. K. y Kirwan, J. P.: "Insulin and exercise differentially regulate PI3-kinase and glycogen synthase in human skeletal muscle", *J Appl Physiol*, 89, vol. 4 (2000), pp. 1412-1419.
- Piehl Aulin, K.; Soderlund, K. y Hultman, E.: "Muscle glycogen resynthesis rate in humans after supplementation of drinks containing carbohydrates with low and high molecular masses", *Eur J Appl Physiol*, 81, vol. 4 (2000), pp. 346-351.
- Poleman, C. M. y Peckenpaugh, N. J.: *Nutrition. Essentials and diet therapy*, Philadelphia: WB Saunders Company, 1991.
- Reuss, L.: "One-hundred years of inquiry: The mechanism of glucose absorption in the intestine", *Annu Rev Physiol*, 62 (2000), pp. 939-946.
- Ryan, A. J.; Bleiler, T. L.; Carter, J. E. y GISOLFI, C. V.: "Gastric emptying during prolonged cycling exercise in the heat", *Med Sci Sports Exerc*, 21 (1989), pp. 51-58.
- Sawka, M. N.; Latzka, W. A.; Matott, P. R. y Montain, S. J.: "Hydration effects on temperature regulation", *Int J Sports Med*, 19 (1998), pp. 108-110.
- Schulkin, J.: *Sodium Hunger: the search for a salty taste*, Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1991.
- Shephard, R.; Dirix, C.; Knuttgen, H. y Tittel, K.: *Libro Olímpico de la Medicina Deportiva*, Barcelona: Doyna, 1988.
- Shi, X.; Bartoli, W.; Horn, M. y Murra, Y. R.: "Gastric emptying of cold beverages in humans: effect of transportable carbohydrates", *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 10 (United States), vol. 4 (2000), pp. 394-403.
- Shirreffs, S. M.: "Effects on ingestion of carbohydrate-electrolyte solutions on exercise performance", *Int J Sports Med*, 19 (1998), pp. 17-20.
- Shirreffs, S. M.: "Marker of hydration status", *J Sports Med Phys Fitness*, 40 (2000), pp. 80-84.
- Shirreffs, S. M. y Maughan, R. J.: "Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: replacement of water and sodium losses", *Am J Physiol*, 274, vol. 2 (1998), pp. F868-875.
- Shirreffs, S. M. y Maughan, R. J.: "Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content", *J Appl Physiol*, 82, vol. 1 (1997), pp. 336-341.
- Shirreffs, S. M.; Taylor, A. J.; Leiper, J. B. y Maughan, R. J. (1996): "Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and sodium content of ingested fluids", *Med Sci Sports Exerc*, 28, pp. 1260-1271.
- Snyder, A. C.; Moorhead K. y Luedtke, J.: "Carbohydrate consumption prior to repeat bouts of high-intensity exercise", *Eur J Appl Physiol*, 66 (1993), pp. 141-145.
- Tarnopolsky, M. A.; Dyson, K. y Atkinson, S. A.: "Mixed carbohydrate supplementation increases carbohydrate oxidation and endurance exercise performance and attenuates potassium accumulation", *Int J Sports Nutr*, 4 (1996), pp. 323-336.
- Van Loon, L. J.; Saris, W. H.; Kruijshoop, M. y Wagenmakers, A. J.: "Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures", *Am J Clin Nutr*, 72, vol. 1 (2000a), pp. 106-111.
- Van Loon, L. J.; Kruijshoop, M.; Verhagen, H.; Saris, W. H. y Wagenmakers, A. J.: "Ingestion of protein hydrolysate and amino acid-carbohydrate mixtures increases postexercise plasma insulin responses in men", *J Nutr*, 130, vol. 10 (2000b), pp. 2508-2513.
- Ventura, J. L.; Estruch, A. y Rodas, G.: "Effect of prior ingestion of glucose or fructose on the performance of exercise of intermediate duration", *Eur J Appl Physiol*, 68 (1994), pp. 345-349.
- Villa Vicente, J. G. y Gonzalez Gallego, J.: "Papel de la suplementación energética en el rendimiento deportivo", en J. Culebras, A. García de Lorenzo y J. González Gallego: *Nutrición por vía enteral*, Madrid: Aula Médica, 1994.
- Villegas, J.: "Alimentación en deportes de especial requerimiento", en J. Gallego y J. Vicente (ed.), *Nutrición y ayudas ergogénicas en el deporte*, Madrid: Editorial Síntesis, 1998.
- Villegas, J.; Becerro, J.; Rocamora, M. y Zamora, S.: "Termorregulación en relación con el ejercicio en ambientes cálidos", *Medicina Aeroespacial y Ambiental*, 3, vol. 1 (1995), pp. 122-132.
- Wagner, L.: "A recipe for nutrition and hydration", *Provider*, 27, vol. 1 (2001), pp. 20-28, 30-31.
- Walton, P. y Rhodes, E. C.: "Glycaemic index and optimal performance", *Sports Med*, 23, vol. 3 (1997), pp. 164-172.
- Webster, S.; Rutt, R. y Weltman, A.: "Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers", *Med Sci Exerc*, 22 (1990), pp. 229-234.
- Wilmore, J. H.; Morton, A. R.; Gilbey, H. J. y Wood, R. J.: "Role of taste on fluid intake during and after 90 min of running at 60 % of VO<sub>2max</sub> in the heat", *Med Sci Sports Exerc*, 30, vol. 4 (1998), pp. 587-595.
- Wong, S. H.; Williams, C. y Adams, N.: "Effects of ingesting a large volume of carbohydrate-electrolyte solution on rehydration during recovery and subsequent exercise capacity", *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 10, vol. 4 (2000), pp. 375-393.
- Wooton, S.: *Nutrición y Deporte*, Zaragoza: Acribia, 1990.
- Yaspelkis, B. B. y Ivy, J. L.: "The effect of a carbohydrate-arginine supplement on postexercise carbohydrate metabolism", *Int J Sport Nutr*, 9, vol. 3 (1999), pp. 241-250.



**Paraules clau**

hidratació, deshidratació, rehidratació, rendiment

# Hidratació i rendiment: pautes per a una elusió efectiva de la deshidratació per exercici

▪ **JONATAN RUIZ RUIZ**

▪ **JOSÉ LUIS MESA MESA**

Departament de Fisiologia. Facultat de Medicina.  
Departament d'Educació Física i Esportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.  
Universidad de Granada

▪ **FRANCISCO J. MULA PÉREZ**

Departament d'Educació Física i Esportiva. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte.  
Universidad de Granada

▪ **ÁNGEL GUTIÉRREZ SÁINZ**

▪ **MANUEL J. CASTILLO GARZÓN**

Departament de Fisiologia. Facultat de Medicina.  
Universidad de Granada

**Abstract**

*Physical and mental performance during physical exercise and sport practice is impaired in the under-hydrated individual. During physical exercise, loss of body weight is due to loss of water (transpired or perspired). This loss negatively affects different physiological systems including nervous system, cardiovascular, thermoregulation, endocrine or metabolic. In some instances, this may lead to serious consequences and even the subject death. To avoid this as well as the negative effects on physical performance, the athlete must drink enough amounts of fluids "before", "during" and "after" practicing physical exercise. Ideally, the solution should contain water, electrolytes and carbohydrates in adequate concentration to guarantee optimal performance and restore water, electrolytes and energy losses. Not only composition but other specific characteristics of the drink (palatability, temperature) are also important. In addition, extrinsic (ambient temperature, humidity, height, wind) and intrinsic factors (hydration level, gastrointestinal problems, type of exercise) must be taken into consideration. In general, coupled to sport practice, athletes do not drink enough amounts of fluid to restore their losses, so it becomes necessary to establish schemes to favor it. In this review, these schemes and the underlying physiological mechanisms are described.*

**Key words**

*hydration, dehydration, rehydration, physical performance*

**Resum**

El rendiment de les capacitats físiques i mentals durant la pràctica esportiva o la competició, es troba disminuït sota condicions de deshidratació. La pèrdua de pes es deu a la pèrdua d'aigua (suor i respiració) i quan aquesta és important, afecta de manera decisiva els sistemes nervioss, cardiovascular, termoregulator, endocrí i/o metabòlic, i pot provocar fins i tot la mort. Per eludir aquests efectes negatius de la deshidratació així com la disminució del rendiment, l'atleta haurà de beure prou quantitat de líquid *abans, durant, i després* de la competició o la pràctica d'exercici. Idealment, la beguda serà una solució composta d'aigua, electròlits i carbohidrats, en quantitat adequada per garantir, d'una banda, un rendiment òptim durant la competició i, d'una altra, reposar eficaçment i completament les pèrdues hídriques, electrolítiques i energètiques. La composició i el volum de la beguda tindrà en compte els factors extrínsecs (temperatura, humitat, altitud, vent, etc.) que envolten la competició, els factors intrínsecs de l'atleta (nivell de deshidratació, problemes gastrointestinals, tipus de competició) i les pròpies característiques de la beguda (gust, temperatura, composició). En termes generals, els atletes no acostumen a



beure, durant la pràctica esportiva, el volum necessari per reemplaçar la pèrdua de fluids i electrolïts, cosa que fa que calgui establir pautes perquè ho facin. En aquest treball es presenten aquestes pautes i la base fisiològica que les sosté.

## Introducció

Durant la pràctica esportiva intensa s'acostumen a produir canvis aguts en la massa corporal, cosa que és provocada, principalment, per la pèrdua d'aigua en forma de suor i respiració (Shirreffs, 2000). Això pot alterar l'homeòstasi del volum intracel·lular i extracel·lular de l'organisme (Kargotich *et al.*, 1998), i produir alteracions significatives en les funcions corporals, tot implicant-se, entre d'altres, els sistemes nerviosos, cardiovascular, termoregulador, metabòlic, endocrí o excretor. Tot plegat pot minvar les capacitats físiques i psíquiques durant l'exercici (González-Alonso *et al.*, 1998; Armstrong i Epstein, 1999; Downey & Seagrave, 2000). Una deshidratació que ocasioni una pèrdua del 2% del pes corporal, redueix el rendiment aerobi (Mudambo *et al.*, 1997; Hawley & Burke, 1998; Barr, 1999; González-Alonso *et al.*, 1999). Tanmateix, la literatura no mostra dades concloents sobre l'efecte de la deshidratació sobre la força i la potèn-

cia anaeròbia (Webster *et al.*, 1990; Montain *et al.*, 1998; Foued *et al.*, 2001; Gutiérrez *et al.*, 2001; Ftaiti *et al.*, 2001). Quan la deshidratació arriba a nivells del 7-10% de pèrdua de pes corporal, es pot provocar la mort del subjecte (Hawley & Burke, 1998; Epstein & Armstrong, 1999; Naghii, 2000). (*Taulella 1*)

Per evitar o minimitzar els efectes de la deshidratació, optimitzar la *performance* i afavorir tots els mecanismes implicats en la defensa de l'homeòstasi a nivell extracel·lular i intracel·lular, l'atleta haurà d'ingerir fluids: *a) abans* de la competició, per afrontar la competició en un estat de bona hidratació (euhydratació); *b) durant* la competició, per mantenir el volum sanguini i els sistemes cardiovascular i termoregulador (Candas *et al.*, 1988) en òptimes condicions; *c) després* de la competició, per assegurar una correcta reposició dels fluids perduts durant l'exercici i que no han pogut ser restablerts. Tot això assegura una ràpida, eficaç i completa recuperació hídrica, electrolítica i energètica (Van Loon *et al.*, 2000; Bowtell *et al.*, 2000; González-Gross *et al.*, 2001; Burke, 2001) alhora que accelera el procés de recuperació per a l'endemà. Per fer-ho cal també l'administració de carbohidrats immediatament després de la fi de l'esforç físic que provoquin un augment de glucèmia i insulinèmia que

garanteixi tant el restabliment del glicogen muscular com hepàtic (Calbet, 1999). (*figura 1*)

El problema es planteja a l'hora d'establir uns criteris clars i precisos pel que fa a la quantitat, la composició, propietats organolèptiques, temperatura, i freqüència amb la qual l'atleta ha d'ingerir aquesta beguda, cosa que es complica encara més perquè, en tots els casos, aquesta beguda ha d'adaptar-se a les necessitats i característiques pròpies de l'atleta (edat, sexe, pes, alçada, estat de nutrició i entrenament) (Barr, 1999; Sawka *et al.*, 1998; Naghii, 2000), i a les particularitats de l'exercici que practiqui (aire lliure, espai tancat, grau d'humitat, durada, aquàtic, etc.).

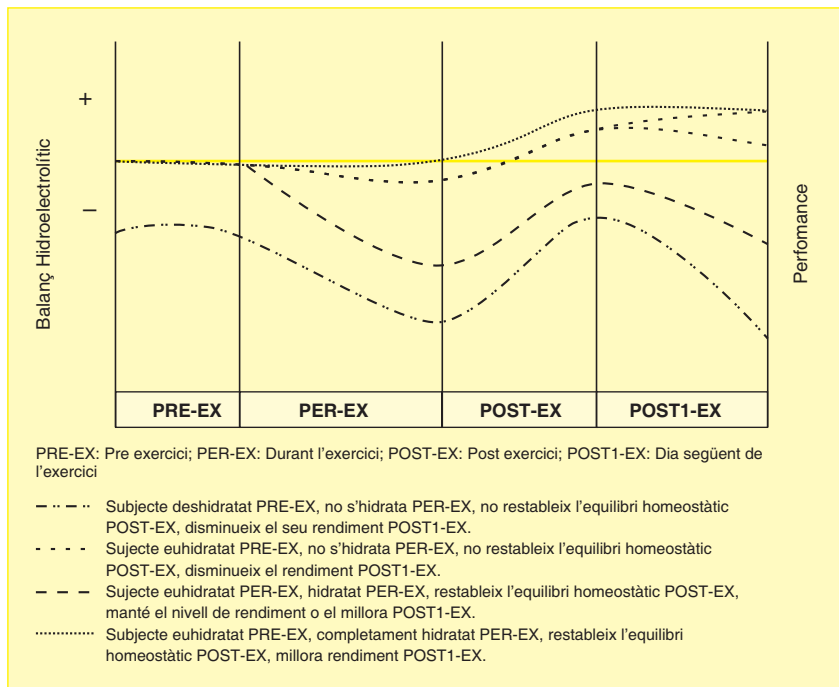
### Taulella 1.

Efectes de la deshidratació sobre el rendiment físic.

PÈRDUA D'AIGUA EN % DE LA MASSA CORPORAL	EFFECTES DE LA DESHIDRATACIÓ SOBRE EL RENDIMENT FÍSIC
1-3 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Set</li> <li>▪ Reducció volum plasmàtic</li> <li>▪ Hipovolèmia</li> <li>▪ Hemoconcentració</li> <li>▪ Insuficiència termoreguladora</li> <li>▪ Disminueix volum sistòlic</li> <li>▪ Augment freqüència cardíaca</li> <li>▪ Reducció tensió arterial</li> <li>▪ Augment de catecolamines i cortisol</li> <li>▪ Augment d'ADH, aldosterona i angiotensina II</li> <li>▪ Augmenta la percepció del esforç (RPE)</li> <li>▪ Disminueix la capacitat de esforç físic</li> <li>▪ Disminueix el rendiment aerobi</li> </ul>
4-5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Hipertèrmia</li> <li>▪ Disminueix despesa cardíaca</li> <li>▪ Disminueix tensió arterial</li> <li>▪ Augment de rutes glucolítiques anaeròbies</li> <li>▪ Augment de l'utilització de glicogen muscular</li> <li>▪ Augment en la concentració d'àcid làctic</li> <li>▪ Dany a la funció gastrointestinal</li> <li>▪ Dificulta rendiment aerobi</li> <li>▪ Empitjora la coordinació</li> <li>▪ Fatiga per calor</li> <li>▪ Dany a la funció cerebral</li> <li>▪ Asincronia de Unitats motrius</li> <li>▪ Afectat el reclutament d'unitats motrius</li> </ul>
> 5 %	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Cefalees</li> <li>▪ Hiponatrèmia</li> <li>▪ Hipokalièmia</li> <li>▪ Mareigs</li> <li>▪ Dificultat per la concentració</li> <li>▪ Cop de calor</li> <li>▪ Contractures</li> <li>▪ Risc de coma</li> <li>▪ Mort 8-10 %</li> </ul>

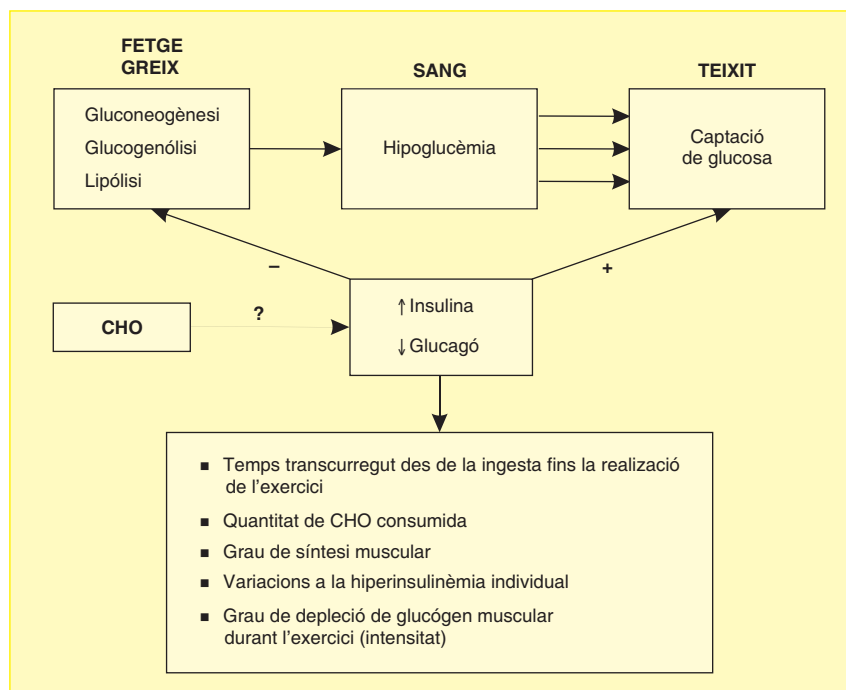
### Figura 1.

Repercussió de l'estat d'hidratació sobre el rendiment.



**Figura 2.**

Efectes de la hiperinsulinèmia produïda per ingestió de carbohidrats (CHO) (adaptat de Villa & González, 1994).



### Volum i contingut de la ingestió pre-competició

La ingesta de beguda prèvia a la competició persegueix garantir un nivell adequat d'hidratació. La composició de la beguda a ingerir (contingut en carbohidrats, electròlits, osmolaritat) no està exempta de problemes. Recents acords d'institucions rellevants en matèria de Medicina de l'Esport (American College of Sports Medicine, 2000) aconsellen a l'esportista que consumeixi al voltant de 500 ml de fluid durant les dues hores prèvies a l'exercici. Es proposa una beguda equilibrada, agradable, que no retardi el buidatge gàstric, amb una osmolaritat que no alteri la del plasma sanguini (que és de 280-300mOsm/Kg), i una concentració de 6-8% de carbohidrats (Poleman & Peckenpaugh, 1991; McArdle *et al.*, 1993; Convertino *et al.*, 1996; Latzka & Montain, 1999). L'addició d'electròlits abans de l'exercici tindrà com a principal objectiu augmentar la palatabilitat de la beguda i proporcionar una mica d'electròlits, però mantenint inalterada l'osmolaritat plasmàtica. L'addició de 10-20 mmol/l de Na<sup>+</sup> i de 5-10 mmol/de K<sup>+</sup> es considera recomanable (Coombes & Hamilton, 2000). Els valors normals de Na<sup>+</sup> en plasma oscil·len entre 135-145 mmol/l, i

a la suor 35,2-81 mmol/l (Shirreffs & Maughan, 1997; Marins *et al.*, 2001). Els casos d'hipo/hipernatrèmia i hipo/hiperkalièmia previs són molt poc freqüents entre els esportistes, i es mantenen en rangs de normalitat amb una dieta equilibrada (Coombes & Hamilton, 2000; Marins *et al.*, 2001).

El problema que es planteja, quan s'ingereix una beguda amb un cert contingut en carbohidrats, és l'efecte que aquests tindran sobre la secreció d'insulina i, per tant, inhibidora de la secreció de glucagó. Així, si en els moments previs a la competició es prenen begudes riques en carbohidrats, la secreció augmentada d'insulina, amb la consegüent translocació de les proteïnes transportadores de glucosa GLUT-4 al múscul i al teixit adipós (Coombes & Hamilton, 2000), el seu efecte inhibitori de la glicogenólisi i neogluconeogènesi hepàtica i la disminució de glucagó, augmentaran la disponibilitat perifèrica de glucosa i en frenaran la producció hepàtica (Castillo *et al.*, 1996). Simultàniament, la disminució de la raó molar insulina/glucagó inhibirà la lipòlisi, cosa que ocasiona una disminució d'àcids grassos lliures en circulació susceptibles d'ésser utilitzats per la fibra muscular (Castillo, 1998). Tot això ocasionarà, en el moment de realitzar exercici, la

necessitat de recórrer, per part de la fibra muscular, a la utilització del seu propi glicogen, cosa que porta com a conseqüència una disminució del temps d'aparició de la fatiga (Hagraeves *et al.*, 1985). En base a això, la ingesta prèvia de begudes amb un alt contingut en carbohidrats (>8%) no resulta aconsellable *a priori*. L'efecte de la ingestió de begudes carbohidratades prèvia a la realització d'exercici, i el seu efecte sobre la resposta hiperinsulinèmica, depèn del temps transcurregut des de la ingesta fins a la realització de l'exercici, de la quantitat de carbohidrats consumida, del grau de síntesi de glicogen muscular, de les variacions individuals a la resposta a la hiperinsulinèmia, i del canvi en l'índex de depleció de glicogen muscular durant l'exercici (Coombes & Hamilton, 2000), cosa que està relacionada, paral·lelament, amb la seva intensitat (figura 2). Altres estudis, com els presentats per Coyle (1991), Snyder *et al.* (1993) i Tarnopolsky *et al.* (1996), van mostrar que els individus que van ingerir carbohidrats (~10% de glucosa, sacarosa o maltodextrines, i 19,7% de polímers de glucosa, respectivament) durant l'hora que precedeix a un exercici de curta durada, no van patir les conseqüències de la hiperinsulinèmia esmentades i el seu rendiment no va disminuir. S'han obtingut, fins i tot, augments en el rendiment de curta durada quan s'administrava una solució amb una concentració de carbohidrats 8-10% (glucosa i fructosa) durant els 15-30 minuts previs a la competició (Ventura *et al.*, 1994; El-Sayed *et al.*, 1997). Per tant, la concentració òptima de carbohidrats pot estar al voltant del 8-10%, per mantenir un balanç energètic adequat durant l'exercici.

### Volum i contingut de la beguda durant la competició

Durant la realització de l'exercici, és habitual que no s'ingereixi de manera voluntària la quantitat d'aigua que es perd. Això s'esdevé fins i tot quan s'augmenta la palatabilitat de la beguda (Shirreffs *et al.*, 1996; Maughan & Leiper, 1999). El volum i la freqüència de la ingesta de la beguda durant la realització d'exercici i després de fer-lo es troba influïda per la temperatura, gust (Wilmore *et al.*, 1998), aroma i aparença d'aquella; i són les begudes fredes (8°-12° C) les que es consumeixen en més quantitat (Shi *et al.*, 2000).



L'efectivitat de la restitució de fluid durant l'exercici depèn de la velocitat de buidatge gàstric i l'absorció intestinal (Nose *et al.*, 1990; Costill *et al.*, 1990; Gisolfi *et al.*, 1990). D'aquests, la velocitat de buidatge gàstric és el factor principal (Costill & Saltin 1974; Gisolfi *et al.*, 1990).

### Velocitat de buidatge gàstric

La velocitat de buidatge gàstric (800ml/h) (Ryan *et al.*, 1989) depèn de l'osmolaritat, pH, i temperatura de la dissolució (Shi *et al.*, 2000), intensitat de l'exercici, volum de la ingesta i aportació calòrica (Maughan & Leiper, 1999) i aquest últim és un factor decisiu fins a l'extrem que hi ha una relació lineal entre densitat calòrica i velocitat de buidatge gàstric. (Murray *et al.*, 1999; Gisolfi *et al.*, 1998; Calbet, 1999). A intensitats superiors al 70%  $\dot{V}O_{2max}$ , la intensitat de l'exercici sembla afectar negativament la velocitat de buidatge gàstric (Cheung *et al.*, 2000). Una intensitat inferior al 70-75%  $\dot{V}O_{2max}$  no retarda el buidatge gàstric (Brouns *et al.*, 1987; Costill, 1990). Fins i tot, s'ha mostrat que quan els subjectes caminaven o corrien a una intensitat inferior al 70%  $\dot{V}O_{2max}$ , la velocitat de buidatge gàstric augmentava respecte a quan els subjectes romanien en repòs (Neufer *et al.*, 1989a). Això es va atribuir a la mobilitat gastrointestinal provocada pels moviments corporals propis de l'activitat. Intensitats superiors (75-100%), poden comprometre el buidatge gàstric, tot retardant l'absorció de fluids en l'intestí, principalment per l'augment de la sol·licitació del flux sanguini pels grups musculars que estan desenvolupant l'esforç físic, cosa que disminuirà el flux sanguini en l'aparell digestiu i intestinal, i provocarà un descens en la velocitat del buidatge gàstric (Costill & Saltin, 1974; Ryan *et al.*, 1989; Galloway & Maughan, 1997; Cheung *et al.*, 2000). Les altes temperatures ambientals també disminueixen de forma significativa el nivell de buidatge gàstric (Neufer *et al.*, 1989b).

### Absorció intestinal

Els factors que afecten l'absorció intestinal d'aigua, carbohidrats i electròlits, són múltiples (Coombes *et al.*, 2000). Durant l'exercici, es poden arribar a absorbir entre 1,9 i 2,3 l/h (González & Villa, 1998). La presència de  $Na^+$  i carbohidrats a la

beguda en millora l'absorció mútua a causa del mecanisme de co-transport pel qual glucosa i sodi s'absorbeixen a nivell intestinal, cosa que es potencia amb l'addició de clorur (Gisolfi, 1994; Reuss, 2000). El  $Na^+$ , a més a més, millora la palatabilitat de les solucions, tot augmentant-ne el consum "ad libitum". Això, a més a més, contribueix al manteniment de l'osmolaritat plasmàtica (Gisolfi, 1994; Shirreffs, 1998).

El tipus de soluts afegits a la solució, l'osmolaritat que determinen i el seu nivell de digestibilitat poden influir en la velocitat de l'absorció a través de l'intestí (Coombes *et al.*, 2000). En aquest sentit, resulta difícil combinar els diferents tipus i quantitats de carbohidrats en la beguda, ateses les diferents respostes que poden ocasionar en l'esportista. Un contingut intestinal amb una elevada osmolaritat retardarà l'absorció intestinal, fins i tot pot atreure aigua des de l'interstici cap a la mateixa llum, augmentar el trànsit intestinal i ocasionar diarrea. En general, l'absorció de fluid no es veu disminuïda fins a concentracions del 8%; aquesta absorció és superior a la que s'aconsegueix quan es beu aigua sola (Fordtran, 1975; Leiper & Maughan, 1988). Això s'explica per l'arrossegament de solvent que els soluts

(glucosa i sodi, principalment) exerceixen quan ja es troben al costat baso-lateral de la cèl·lula. A aquest espai serà atreta l'aigua, des de la llum intestinal, passant a través de la fenestra intercel·lular. De la mateixa manera, vehiculats amb l'aigua aniran alguns soluts que tingui dissolts, mecanisme conegut com a arrossegament per solvent. Al capdavant, es produeix un arrossegament mutu de solvent i soluts. En conseqüència, és convenient adaptar la composició de la beguda i el tipus de carbohidrats que conté, per aconseguir la major absorció d'aigua i sodi amb el mínim impacte en l'osmolaritat i en l'homeòstasi intestinal.

### Composició de la beguda

L'aportament de carbohidrats just a l'inici de l'exercici i tot al llarg de l'exercici pot contribuir a preservar el glicogen muscular en esforços prolongats, en esforços a intervals i en esforços de curta durada i elevada intensitat (80-95%) (Villa & González, 1994; Balsom *et al.*, 1999). El volum de líquid a ingerir variarà d'acord amb la quantitat de fluid que pretenem de beure per a cada concentració de carbohidrats (Villa & González, 1994; Hawley & Burke, 1998). (Taula 2)

**Taula 2.**

Balanç de fluid (ml/hr) per cada concentració de carbohidrats, expressat en % (g/ml) i en g/hr (adaptat de Hawley & Burke).

CONCENTRACIÓ CHO % (g/100 ml)	CONCENTRACIÓ DE CARBOHIDRATS (g/hr)						VOLUM (ml/hr)
	30 g/hr	40 g/hr	50 g/hr	60 g/hr	70 g/hr	80 g/hr	
2	1.500	2.000	2.500	3.500	3.500	4.000	
4	750	1.000	1.250	1.500	1.750	2.000	
5	600	800	1.000	1.200	1.400	1.600	
6	500	670	830	1.000	1.170	1.340	
7	430	570	715	860	1.000	1.140	
8	375	500	625	750	875	1.000	
10	300	400	500	600	700	800	
12	250	330	420	500	580	670	
15	200	270	330	400	470	530	
20	150	200	250	300	350	400	
25	120	160	200	240	280	320	
50	60	80	100	120	140	160	
75	40	53,3	66,7	80	93,3	106,6	



### Taula 3.

Càlculs de la pèrdua de fluid per suor i balanç de fluid durant l'exercici ( $1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 1000 \text{ ml}$  d'aigua (Hawley & Burke, 1998).

1. **Canvi de la massa corporal (kg)** = pes corporal abans de l'exercici – pes corporal després de l'exercici (després de secat).
2. **Fluid ingerit (ml)** = volum de fluid abans de l'exercici – volum de fluid després de l'exercici.
3. **Pèrdua d'orina (ml)** = pes corporal abans d'orinar – pes corporal després d'orinar.
4. **Pèrdua total de suor durant l'exercici (ml)** = canvi de la massa corporal ( $\text{kg} \times 1000$ ) + fluid ingerit (ml) – pèrdua d'orina.
5. **Índex de suor (ml/hr)** = pèrdua total de suor / duració de l'exercici (hr).
6. **Dèficit de fluid (ml)** = canvi en el pes corporal ( $\text{kg} \times 1000$ ).
7. **% de deshidratació** = canvi en el pes corporal (kg) / pes corporal abans de l'exercici (kg)  $\times 100$ .

Per a esdeveniments que durin menys d'una hora, es proposa una ingesta de líquid de 300-500 ml al 6-10% de concentració de carbohidrats, cada 15 minuts i a una temperatura de 5°-15° C, encara que alguns estudis indiquen que per a esdeveniments de durada <1h no és necessària la ingesta de fluids (Maughan & Noakes, 1991). Per a esdeveniments que durin d'1-3 hores, es proposa la ingesta de 800-1600 ml/h amb una concentració de 6-8% de carbohidrats, i amb 10-20mmol/L de  $\text{Na}^+$ . Per a esdeveniments de més de 3h (Gisolphi & Duchman, 1992; Latzka & Montain, 1999; González-Gross *et al.*, 2001) es redueix el volum fins a 1000 ml i s'augmenta la concentració de  $\text{Na}^+$  fins a 20-30 mmol/l. La reposició de sodi hauria de ser superior (~1g/l) quan la ingestió de líquid supera els 4-5 l durant un exercici al 50-60%  $\text{VO}_{2\text{max}}$ , realitzat en ambients de 37°-38°C (Villegas, 1998). L'osmolaritat no hauria de sobrepassar els 280mOsm/Kg, per garantir una adequada absorció i transport d'aigua (Gisolphi *et al.*, 1992; Sawka *et al.*, 1998; Brouns *et al.*, 1998; Maughan, 1999). Així reemplaçarem, si més no parcialment, les pèrdues de líquid, electrolítics i de substrats energètics en esdeveniments de llarga durada, ja que durant una hora d'exercici de baixa intensitat, un subjecte pot perdre d'1 a 2 litres de suor, quantitat que augmenta fins a 2,5-3 litres quan aquest es realitza a altes intensitats i en ambients calorosos (Sawka *et al.*, 1998). La inclusió de potassi en les begudes isotòniques no es considera rellevant (Amat, 1998). L'aparició d'hipokalièmia entre els atletes és infreqüent, tenint en compte que la reposició d'aquest electrolític a través de la dieta acostuma a

ser adequada (Shephard, 1988; Gastmann *et al.*, 1998).

### Volum i contingut de la ingestió de líquids postcompetició

#### Mecanismes de la set

La restauració corporal de fluid està regulada per diferents sistemes de senyals aferents que estimularan la set i/o la gana de sodi (Schulkin, 1991; Jhon, 1998). Les neurones osmoreceptores, són estimulades amb petits augmentes de l'osmolaritat plasmàtica tot exercint un intens control sobre la secreció d'ADH i sobre la set (Mack, 1998; Fitzsimons, 1998). El descens de la pressió arterial, hipovolèmia, o disminució del volum del líquid extracel·lular, tal com es desenvolupa en un individu en estat de deshidratació, estimula la set a través d'una via dependent a l'anterior (Armstrong & Epstein, 1999). L'angiotensina II i l'ADH (hormona antidiürètica), estimulades per factors associats a l'augment de l'osmolaritat extracel·lular, a la hipovolèmia i a la baixa pressió sanguínia, augmenten l'absorció intestinal alhora que actuen sobre l'òrgan vasculós de la làmina terminal, íntimament implicat en la mediació de la resposta a la set (Fitzsimons, 1998; Jhon, 1998). La set és un reflex tardà de les condicions deficitàries dels compartiments líquids del cos (Mack, 1998), que pot estar alterat o atenuat durant la competició. S'haurà de realitzar un calibratge precís de la composició de la beguda, encaminat a provocar un augment de la ingesta, per assegurar-nos d'una adequada rehidratació i una completa restauració dels líquids, electrolítics, i dipòsits de glicogen (Wagner, 2001).

La composició de la beguda postcompetició variarà en funció del temps i la intensitat de l'exercici precedent, i de les condicions ambientals en què es desenvolupi; com a criteri essencial s'establirà que el consum sigui igual o superior a la pèrdua per suor (Maughan *et al.*, 1997). (Taula 4)

### Carbohidrats i síntesi de glicogen

Després de realitzar un esforç muscular de més d'1 hora, les reserves de glicogen muscular poden quedar amb depleció (pèrdua al voltant del 90%) (Villa & González, 1994; Latzka & Montain, 1999; ACSM, 2000). Per restablir els nivells de glicogen muscular, cal un augment exogen de substrats al múscul esquelètic i una activitat augmentada de la resíntesi muscular de glicogen (Calbet, 1999). Per accelerar aquest restabliment, s'haurà d'augmentar la glucèmia i, en conseqüència, la insulina, i es potenciarà l'efecte de les diferents hormones anabòliques (insulina, testosterona, hormona del creixement) i l'acció del pèptid GLP-1, per estimular la síntesi de glicogen hepàtic i muscular. En aquestes condicions es podrà realitzar una nova sessió d'entrenament o competició en condicions òptimes (Calbet, 1999; Delgado *et al.*, 1999; Bilzon *et al.*, 2000; Wong *et al.*, 2000; Van Loon *et al.*, 2000a; Wagner, 2001). Fins i tot en situacions en les quals el nostre únic objectiu sigui la rehidratació i restaurar el balanç hídric, l'addició d'una petita quantitat de carbohidrats (<2%) pot millorar l'índex d'absorció intestinal de sodi i aigua (Maughan & Shirreffs, 1997).

La síntesi de glicogen muscular post exercici, és el factor clau per determinar el temps que necessita l'atleta per recuperar-se després d'un exercici de llarga durada (Van Loon *et al.*, 2000a). La capacitat de recuperació del glicogen és màxima durant la primera hora després de l'exercici (Wootton, 1990), i no arriba a restaurar-se completament fins a les 24-48 hores posteriors (Coyle *et al.*, 1997). L'osmolaritat del fluid (Piehl *et al.*, 2000) i l'índex glucèmic (que ha de ser moderat o alt) (Walton *et al.*, 1997) (Taula 4) repercutiran en la velocitat de síntesi del glicogen, tot minimitzant al màxim el contingut de greixos, proteïnes i fibra, amb l'objecte d'evitar problemes gastrointestinals (Villa & González, 1994; Hawley & Burke, 1998). Les begudes isosmòtiques són les més aptes per asse-



gurar una absorció intestinal màxima (Giolsofi *et al.*, 1992; Sawka *et al.*, 1998; Brouns *et al.*, 1998; Maughan, 1999).

L'addició d'una combinació de proteïnes hidrolitzades i aminoàcids a les begudes carbohidratades és cada vegada més freqüent per transformar en anabòlic l'ambient hormonal i augmentar, d'aquesta manera, la velocitat de resíntesi de glicogen i proteïnes (Calbet, 1999; van Loon *et al.*, 2000a; van Loon, *et al.*, 2000b). Així, s'ha vist que després de provocar una depleció completa de les reserves de glicogen, la velocitat de resíntesi va ser de  $35,4 \pm 5,1 \mu\text{moles de glicosol} \cdot \text{g} \cdot \text{sec} \cdot \text{wt/l/h}$  quan s'utilitzava una solució carbohidratada ( $0,8\text{g/Kg/h}$ ) que contenia proteïna hidrolitzada i aminoàcids essencials (leucina i fenilalanina), davant d'una velocitat de resíntesi de  $16,6 \pm 7,8 \mu\text{moles de glicosol} \cdot \text{g} \cdot \text{sec} \cdot \text{wt/l/h}$  quan s'usava una solució que només contenia carbohidrats ( $0,8\text{g/Kg/h}$ ) (Van Loon *et al.*, 2000a). La síntesi de glicogen va ser fins i tot superior ( $44,8 \pm 6,8 \mu\text{moles de glicosol} \cdot \text{g} \cdot \text{sec} \cdot \text{wt/l/h}$ ) quan es va incrementar la concentració de carbohidrats fins a  $1,2 \text{g/Kg/h}$  (Van Loon *et al.*, 2000a). Després de 2h d'exercici (amb la finalitat de provocar una depleció de glicogen), la ingesta de 330 ml d'una solució glucosada al 18,5% més 8g de glutamina, va reposar un 25% més de glicogen hepàtic i muscular, que una solució glucosada (Bowtell *et al.*, 1999). Igualment, la incorporació de 0,08g/de clorhidrat d'arginina junt amb 1g/kg de carbohidrats, va augmentar la resíntesi muscular de glicogen (Yaspelkis & Ivy, 1999) a causa d'un menor índex oxidatiu postexercici de carbohidrats. La ingesta de 2 g/kg de carbohidrats (10%) després de pedalejar semiajegut al 75%  $\text{VO}_{2\text{max}}$  va atenuar la resposta de la fosfatidilinositol 3-kinasa, i va augmentar l'activitat de la glicogen sintasa, tot disminuint el metabolisme oxidatiu, cosa que va facilitar la restauració dels dipòsits de glicogen (O'Gorman, 2000).

El tipus de carbohidrat incorporat a la beguda també és determinant per restablir completament els dipòsits de glicogen (Bowtell *et al.*, 2000). S'ha mostrat que una ingesta de 330ml de fluid amb una concentració del 18,5% de polímers de glucosa (61g), provocava un millor restabliment dels dipòsits de glicogen muscular i hepàtic, que no pas l'obtingut amb sacarosa (18,5% o al 12%) (Bowtell *et al.*, 2000). La ingestió d'1g de glucosa o sacarosa per quilogram de pes corporal és suficient per assegurar

una repelció dels dipòsits de glicogen hepàtic ( $P < 0,05$ ), cosa que no es va produir amb la síntesi de glicogen muscular (Casey *et al.*, 2000).

### Electròlits: sodi, potassi, clorur

Tots els autors coincideixen a afirmar la importància d'afegir quantitats elevades de  $\text{Na}^+$  (50-60mmol/l) a les begudes postexercici, i conclouen que la rehidratació postexercici només es completarà si els nivells d'electròlits (principalment del  $\text{Na}^+$ , i en menor mesura del  $\text{K}^+$  i el  $\text{Cl}^+$ ), perduts per la suor, són reemplaçats completament (Maughan & Shirreffs, 1997; Armstrong & Epstein, 1999). La presència del  $\text{Na}^+$ , a causa de la seva implicació en el mecanisme de co-transport de la molècula de glucosa, l'absorció intestinal i la palatabilitat, descrits anteriorment, es fa imprescindible en les begudes postexercici (Maughan & Shirreffs, 1997; Maughan *et al.*, 1997; Armstrong & Epstein, 1999). La ingesta recomanada és de 50- 60mmol/l, però es pot augmentar fins a 100mmol/l (Shirreffs & Maughan, 1998b). El nivell d'aptitud física i l'aclimatació semblen influir en els nivells de pèrdua de  $\text{Na}^+$ , i poden augmentar les pèrdues en els no entrenats (fins a 100mmol/l) cosa que disminueix, en persones entrenades, fins a 10mmol/l (Marins *et al.*, 2001). En la pràctica habitual es pot esperar una pèrdua d'entre 0,5-2g de  $\text{Na}^+$ /l de suor (Amat, 1998). Els quadres d'hiponatremia són poc freqüents. Tanmateix, la ingesta de barbitúrics, alcohol, diürètics (molt comuns en els lluitadors) pot produir vòmits, deliris, espasmes abdominals, al·lucinacions, taquicàrdies (Marins *et al.*, 2001), i fins i tot la mort; s'arriba a un índex de mortalitat del voltant del 50% segons ha estat publicat (Baylis, 1980). La presència de potassi a les solucions té com a objectiu principal ajudar a la retenció d'aigua intracel·lular, a més a més de reposar la quantitat de potassi perduda per la suor (Maughan *et al.*, 1996), encara que Amat (1998) no considera important la seva inclusió en les begudes. Villegas *et al.*, (1995) comunica que, en qualsevol cas, i a causa del baix índex de desenvolupament d'hipokalièmia, la beguda no ha d'excedir en el seu contingut, una quantitat de 10mmol/l.

### Conclusió

Per eludir els efectes negatius de la deshidratació sobre el rendiment, l'atleta ha de

beure prou quantitat de líquid "abans", "durant", i "després" de l'exercici. Idealment, la beguda serà una solució composta de carbohidrats i electròlits en quantitat adequada per garantir un rendiment òptim i reposar de manera eficaç les pèrdues hídriques, electrolítiques i energètiques sofertes. Per aconseguir-ho cal, d'una banda, conèixer a fons els mecanismes fisiològics implicats i, d'una altra, individualitzar els aportaments a les circumstàncies particulars de cada cas i situació.

**Taula 4.**  
Índex glucèmic d'alguns aliments

ALIMENT	ÍNDEX GLUCÈMIC
<b>Sucres</b>	
Glucosa	138
Mel	87
Sacarosa	86
Fructosa	20
<b>Vegetals</b>	
Patata rostida	135
Mongetes seques	115
Naps	98
Pastanagues	90
Moniato	48
Mongetes	30
Llenties	25
Soja	15
<b>Fruita</b>	
Panses	93
Dàtils	72
Plàtan	65
Taronges	40
Pomes	36
<b>Cereals</b>	
Flocs de blat de moro	119
Flocs d'avena	109
Pa blanc	100
Pa integral	100
Cornflakes	85
Arròs blanc	83
Arròs integral	60
Espaguetis	56
Cigrons	49
Llenties	43
Espaguetis integrals	40

## Bibliografia

- Amat, O.: *Nutrición, salud y rendimiento deportivo*, Barcelona: Espaxs, 1998 (2a ed.).
- American college of sports medicine: "Joint Position Statement: nutrition and athletic performance, American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dieticians of Canada", *Med Sci Sports Exerc*, 32, vol. 12 (2000), pàg. 2.130-2.145.
- Armstrong, L. E. i Epstein, Y.: "Fluid-Electrolyte Balance During Labor and Exercise: Concepts and Misconceptions", *Int J Sport Nutr*, 9, vol. 1 (1999), pàg. 1-12.
- Balsom, P. D.; Wood, K.; Olsson, P. i Ekblom: "Carbohydrate intake and multiple sprint sports: With special reference to football (soccer)", *Int J sports Med*, 20 (1999), pàg. 48-52.
- Baylis, P. H.: "Hiponatremia and hipernatremia", *Clin Endo Ex*, 9, vol. 3 (1980), pàg. 625-637.
- Barr, S. I.: "Effects of dehydration on exercise performance", *Can J Appl Physiol*, 24, vol. 2 (1999), pàg. 164-172.
- Bilzon, J. L.; Allsopp, A. J. i Williams, C.: "Short-term recovery from prolonged constant pace running in a warm environment: the effectiveness of a carbohydrate-electrolyte solution", *Eur J Appl Physiol*, 82, vol. 4 (2000), pàg. 305-312.
- Bowtell, J. L.; Gelly, K.; Jackman, M. L.; Patel, A.; Simeoni, M. i Rennie, M. J.: "Effect of oral glutamine on whole body carbohydrate storage during recovery from exhaustive exercise", *J Appl Physiol*, 86, vol. 6 (1999), pàg. 1770-1777.
- : "Effect of different carbohydrate drinks on whole body carbohydrate storage after exhaustive exercise", *J Appl Physiol*, 88, vol. 5 (2000), pàg. 1529-1536.
- Brouns, F.; Saris, W. H. M. i Rehrer, N. J.: "Abdominal complaints and gastrointestinal function during long lasting exercise", *Int J Sports Med*, 8 (1987), pàg. 175-189.
- Brouns, F.; Kovacs, E. M. i Senden, J. M.: "The Effect of Different Rehydration Drinks on Post-Exercise Electrolyte Excretion in Trained Athletes", *Int J Sports Med*, 19, vol. 1 (1998), pàg. 56-60.
- Burke, L. M.: "Nutritional needs for exercise in the heat", *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 128, vol. 4 (2001), pàg. 735-748.
- Calbet, J. A.: "Papel de la alimentación como alternativa al dopaje", a *Conferencia Nacional sobre el Dopaje*, Pamplona, 21-22 gener 1999, pàg. 58-63.
- Candas, V.; Libert, J-P. i Bradenberg, G.: "Thermal and circulatory responses during prolonged exercise at different levels of hydration", *J Physiol*, 83, París (1988), pàg. 11-18.
- Casey, A.; Mann, R.; Banister, K.; Fox, J.; Morris, P. G.; McDonald, I. A. i Greenhaff, P. L.: "Effect of carbohydrate ingestion on glycogen resynthesis in human liver and skeletal muscle, measured by (13)C MRS", *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 278, vol. 1 (2000), pàg. E65-E75.
- Castillo M. J.: "Diabetes Mellitus: De la Fisiología a la Clínica", *Invest Clin*, 5, vol. 1 (1998), pàg. 119-131.
- Castillo, M. J.; Scheen, A. J.; Paolisso, G. i Lefebvre, P. J.: "Exhaustion of blood glucose response and enhancement of insulin response after repeated glucagon injections in type-2 diabetes: Potentiation by progressive hyperglycemia", *Ann Endocrinol*, 57 (1996), pàg. 395-402.
- Cheung, S. S.; McLellan, T. M. i Tenaglia, S.: "The thermophysiology of uncompensable heat stress. Physiological manipulations and individual characteristics", *Sports Med*, 29, vol. 5 (2000), pàg. 329-359.
- Convertino, V. A.; Armstrong, L. E.; Coyle, E. F.; Mack, G. W.; Sawka, M. N.; Senay, L. C. i Sherman, W. M.: "American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement", *Med Sci Sports Exerc*, 28, vol. 1 (1996), pàg. I-VII.
- Coombes, J. S. i Hamilton, K. L.: "The Effectiveness of Commercially Available Sports Drinks", *Sports Med*, 29, vol. 3 (2000), pàg. 181-209.
- Costill, D. L.: "Gastric emptying of fluid during exercise", in C.V. Gisolfi and DR Lamb (eds.), *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, Carmel IN: Brown & Benchmark (*Fluid Homeostasis During Exercise*, vol. 3 (1990), pàg. 129-180).
- Costill, D. L. i Saltin, B.: "Factors limiting gastric emptying during rest and exercise", *J Appl Physiol*, 37 (1974), pàg. 679-683.
- Coyle, E. F.: "Timing and method in increased carbohydrate intake to cope with heavy training competition and recovery", *J Sports Sci*, 9 (1991), pàg. 29-52.
- Coyle, E. F.; Jeukendrup, A. E.; Wagenmakers, A. J. i Saris, W. H.: "Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise", *Am J Physiol*, 273 (1997), pàg. 238-275.
- Delgado M.; Gutiérrez A. i Castillo M. J.: (1999) *Entrenamiento físico-deportivo y alimentación. De la infancia a la edad adulta*, Barcelona: Paidotribo, 1999 (2a edició).
- Downey, D. i Seagrave, R. C.: "Mathematical modelling of the human body during water replacement and dehydration: body water changes", *Ann Biomed Eng*, 28, vol. 3 (2000), pàg. 278-290.
- El-Sayed, M. S.; Balmer, J. i Rattu, A. J.: "Carbohydrate ingestion improves endurance performance during 1 hour simulated cycling time trial", *J Sports Sci*, 15, vol. 2 (1997), pàg. 223-230.
- Epstein, Y. i Armstrong, L.: "Fluid-electrolyte balance during labour and exercise: Concepts and misconceptions", *Int J Sport Nutr*, 9 (1999), pàg. 1-12.
- Fitzsimons, J. T.: "Angiotensin, thirst, and sodium appetite", *Physiol Rev*, 78, vol. 3 (1998), pàg. 583-686.
- Fordtran, J. S.: "Stimulation of active and passive sodium absorption by sugars in the human jejunum", *J Clin Lab Invest*, 55 (1975), pàg. 728-737.
- Foued, F.; Grélot, L.; Coudreuse, J. M. i Nicol, C.: "Combined effects of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans", *Eur J Appl Physiol*, 84 (2001), pàg. 87-94.
- Ftaiti, F.; Grélot, L.; Coudreuse, J. M. i Nicol, C.: "Combined effect of heat stress, dehydration and exercise on neuromuscular function in humans", *Eur J Appl Physiol*, 84, vol. 1-2 (2001), pàg. 87-94.
- Galloway, S. D. R. i Maughan, R. J.: "Effects of ambient temperature on the capacity to perform prolonged cycle exercise in man", *Med Sci Sports Exerc*, 29 (1997), pàg. 1240-1249.
- Gastman, U.; Dimeo, F.; Huonker, M.; Böcker, J.; Steinacker, J.M. i Lehmann, M.: "Ultra-triathlon-related blood-chemical and endocrinology responses in nine athletes", *J Sports Med Phys Fit*, 38 (1998), pàg. 18-23.
- Gisolfi, C. V.: "Ejercicio, absorción intestinal y rehidratación en el deporte", *Archivos de Medicina del Deporte*, 10, vol. 42 (1994), pàg. 195-200.
- Gisolfi, C. V.; Summers, R. W. i Schedl, H. P.: "Intestinal absorption of fluids during rest and exercise", a C. V. Gisolfi and D. R. Lamb (eds.), *Perspectives in Exercise Science and Sports Medicine*, Carmel, IN: Brown & Benchmark (*Fluid Homeostasis During Exercise*, vol. 3, 1990, pàg. 129-180).
- : "Intestinal water absorption from select carbohydrate solutions in humans", *J Appl Physiol*, 73, vol. 5 (1992), pàg. 2142-2150.
- Gisolfi, C. V. i Duchman, S. M.: "Guidelines for optimal replacement beverages for different athletic events", *Med Sci Sports Exerc*, 24, vol. 6 (1992), pàg. 679-687.
- Gisolfi, C. V.; Summers, R. W.; Lambert, G. P. i Xia, T.: "Effect of beverage osmolality on intestinal fluid absorption during exercise", *J Appl Physiol*, 85, vol. 5 (1998), pàg. 1941-1948.
- González-Alonso, J. i Coyle, E. F.: "Efectos fisiológicos de la deshidratación. ¿Por qué los deportistas deben ingerir líquidos durante el ejercicio en el calor?", *Apuntes, Educación Física*, 4 (1998), pàg. 46-52.
- González-Alonso, J.; Teller, C.; Andersen, S. L.; Jensen, F. B.; Hyldig, T. i Nielsen, B.: "Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat", *J Appl Physiol*, 86 (1999), pàg. 1.032-1.039.
- González Gallego, J. i Villa Vicente, J. G.: *Nutrición y ayudas ergogénicas en el deporte*, Madrid: Ed. Síntesis, 1998.
- González-Gross, M.; Gutiérrez, A.; Mesa, J. L. M. i Castillo, M. J.: "La nutrición en la práctica deportiva", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, sometido, 2001.
- Gutiérrez, A.; Mesa, J. L. M.; Ruiz, J. R. i Castillo, M. J.: "Carbohydrate drink is useful to maintain strength performance after sauna induced rapid weight loss", *Int J Sport Nutr* (2001), sometido.
- Hagraeves, M.; Costill, D. L. i Katz, A.: "Effect of fructose ingestion on muscle glycogen usage anaerobic exercise", *Med Sci Sports Exerc*, 17, vol. 3 (1985), pàg. 360-363.
- Hawley, J. i Burke, L.: *Peak performance: Training and nutritional strategies for sport*, National Library of Australia: Ed. Allen & Unwin. National Library of Australia, 1998.
- Jhon, B.: "Recovery after exercise in the heat-factors influencing fluid intake", *Int J Sports Med*, 19 (1998), pàg. 139-141.
- Kargotich, S.; Goodman, C.; Keast, D. i Morton, A. R.: "The influence plasma volume changes on the interpretation of biomechanical parameters used for monitoring exercise, training and



- sport", *Sports Med*, 26, vol. 2 (1998), pàg. 101-117.
- Latzka, W. A. i Montain, S. J.: "Water and electrolyte requirements for exercise", *Clin Sports Med*, 18, vol. 3 (1999), pàg. 513-524.
- Leiper, J. B. i Maughan, R. J.: "Effect of bicarbonate or base precursor on water and solute absorption from glucose-electrolyte solution in the human jejunum", *Digestion*, 41, vol. 1 (1988), pàg. 39-45.
- Marins, J. C.; Dantas, E. H. i Navarro, S. Z.: "Variaciones del sodio y potasio plasmáticos durante el ejercicio físico: Factores asociados", *Apunts, Educación Física y Deportes*, 62, pàg. 48-55.
- Mack, G. W.: "Recovery after exercise in the heat-factors influencing fluid intake", *Int J Sports Med*, 19 (1988), pàg. S139-141.
- Mcardle, W. D.; Katch, F. I. i Katch, V. L.: *Exercise physiology; energy, nutrition and human performance*, Philadelphia: Lea and Febiger, 1993 (3a edició).
- Maughan, R. J.: "Exercise in the heat: limitations to performance and the impact of fluid replacement strategies. Introduction to the symposium", *Can J Appl Physiol*, 24, vol. 2 (1999), pàg. 149-151.
- Maughan, R. J. i Leiper, J. B.: "Limitations to fluid replacement during exercise", *Can J Appl Physiol*, 24, vol. 2, pàg. 173-187.
- Maughan, R. J. i Noakes, T. D.: "Fluid replacement and exercise stress: A brief review of studies on fluid replacement and some guides for the athlete", *Sports Med*, 12 (1991), pàg. 16-31.
- Maughan, R. J.; Leiper, J. B. i Shirreffs, S. M.: "Factors Influencing the Restoration of Fluid and Electrolyte Balance After Exercise in the Heat", *Br J Sports Med*, 1, vol. 3 (1997), pàg. 175-182.
- Maughan, R. J. i Shirreffs, S. M.: "Recovery from Prolonged Exercise: Restoration of Water and Electrolyte Balance", *J Sports Sci*, 15, vol. 3 (1997), pàg. 297-303.
- Montain, S. J.; Smith, S. A.; Mattot, R. P.; Zienzara, G. P.; Jolesz, F. A. i Sawka M. N.: "Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a <sup>31</sup>P-MSR study", *J Appl Physiol*, 84, vol. 6 (1998), pàg. 1889-1894.
- Mudambo, K. S. M. T.; Leese, G. P. i Rennie, M. J.: "Dehydration in soldiers during walking /running exercise in the heat and the effects of fluid ingestion during a after exercise", *Eur J Appl Physiol*, 76 (1997), pàg. 517-524.
- Murray, R.; Bartoli, W.; Stofan, J.; Horn, M. i Eddy, D.: "A comparison of the gastric emptying characteristics of selected sports drinks", *Int J Sport Nutr*, 9, vol. 3 (1999), pàg. 263-274.
- Naghii, M. R.: "The significance of water in sport and weight control", *Nutr Health*, 14, vol. 2, pàg. 127-132.
- Neufer, P. D.; Young, A. J. i Sawka, M. N.: "Gastric emptying during walking and running: effects of varied exercise intensity", *Eur J Appl Physiol*, 58 (1989a), pàg. 440-445.
- : "Gastric emptying during exercise: effects of heat stress and Hypohydration", *Eur J Appl Physiol*, 58 (1989b), pàg. 433-439.
- Nose H.; Mack G. W.; Shi X. i Nadel E. R.: "Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans", *J Appl Physiol*, 65 (1990), pàg. 325-331.
- O'Gorman, D. J.; Del Àguila, L. F.; Williamson, D. L.; Krishnan, R. K. i Kirwan, J. P.: "Insulin and exercise differentially regulate PI3-kinase and glycogen synthase in human skeletal muscle", *J Appl Physiol*, 89, vol. 4 (2000), pàg. 1412-1419.
- Piehl Aulin, K.; Soderlund, K. i Hultman, E.: "Muscle glycogen resynthesis rate in humans after supplementation of drinks containing carbohydrates with low and high molecular masses", *Eur J Appl Physiol*, 81, vol. 4 (2000), pàg. 346-351.
- Poleman, C. M. i Peckenpaugh, N. J.: *Nutrition. Essentials and diet therapy*, Philadelphia: WB Saunders Company, 1991.
- Reuss, L.: "One-hundred years of inquiry: The mechanism of glucose absorption in the intestine", *Annu Rev Physiol*, 62 (2000), pàg. 939-946.
- Ryan, A. J.; Bleiler, T. L.; Carter, J. E. i Gisolfi, C. V.: "Gastric emptying during prolonged cycling exercise in the heat", *Med Sci Sports Exerc*, 21 (1989), pàg. 51-58.
- Sawka, M. N.; Latzka, W. A.; Matott, P. R. i Montain, S. J.: "Hydration effects on temperature regulation", *Int J Sports Med*, 19 (1998), pàg. 108-110.
- Schulkin, J.: *Sodium Hunger: the search for a salty taste*, Cambridge, UK: Cambridge Univ. Press, 1991.
- Shephard, R.; Dirix, C.; Knuttgen, H. i Tittel, K.: *Libro Olímpico de la Medicina Deportiva*, Barcelona: Doyna, 1988.
- Shi, X.; Bartoli, W.; Horn, M. i Murra, Y. R.: "Gastric emptying of cold beverages in humans: effect of transportable carbohydrates", *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 10 (United States), vol. 4 (2000), pàg. 394-403.
- Shirreffs, S. M.: "Effects on ingestion of carbohydrate-electrolyte solutions on exercise performance", *Int J Sports Med*, 19 (1998), pàg. 17-20.
- : "Marker of hydration status", *J Sports Med Phys Fitness*, 40 (2000), pàg. 80-84.
- Shirreffs, S. M. i Maughan, R. J.: "Volume repletion after exercise-induced volume depletion in humans: replacement of water and sodium losses", *Am J Physiol*, 274, vol. 2 (1998), pàg. F868-875.
- : "Whole body sweat collection in humans: an improved method with preliminary data on electrolyte content", *J Appl Physiol*, 82, vol. 1 (1997), pàg. 336-341.
- Shirreffs, S. M.; Taylor, A. J.; Leiper, J. B. i Maughan, R. J. (1996): "Post-exercise rehydration in man: effects of volume consumed and sodium content of ingested fluids", *Med Sci Sports Exerc*, 28, pàg. 1.260-1.271.
- Snyder, A. C.; Moorhead K. i Luedtke, J.: "Carbohydrate consumption prior to repeat bouts of high-intensity exercise", *Eur J Appl Physiol*, 66 (1993), pàg. 141-145.
- Tarnopolsky, M. A.; Dyson, K. i Atkinson, S. A.: "Mixed carbohydrate supplementation increases carbohydrate oxidation and endurance exercise performance and attenuates potassium accumulation", *Int J Sports Nutr*, 4 (1996), pàg. 323-336.
- Van Loon, L. J.; Saris, W. H.; Kruijshoop, M. i Wagenmakers, A. J.: "Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures", *Am J Clin Nutr*, 72, vol. 1 (2000a), pàg. 106-111.
- Van Loon, L. J.; Kruijshoop, M.; Verhagen, H.; Saris, W. H. i Wagenmakers, A. J.: "Ingestion of protein hydrolysate and amino acid-carbohydrate mixtures increases postexercise plasma insulin responses in men", *J Nutr*, 130, vol. 10 (2000b), pàg. 2.508-2.513.
- Ventura, J. L.; Estruch, A. i Rodas, G.: "Effect of prior ingestion of glucose or fructose on the performance of exercise of intermediate duration", *Eur J Appl Physiol*, 68 (1994), pàg. 345-349.
- Villa Vicente, J. G. i Gonzalez Gallego, J.: "Papel de la suplementación energética en el rendimiento deportivo", a J. Culebras, A. García de Lorenzo i J. González Gallego, *Nutrición por vía enteral*, Madrid: Aula Médica, 1994.
- Villegas, J.: "Alimentación en deportes de especial requerimiento", a J. Gallego i J. Vicente (ed.), *Nutrición y ayudas ergogénicas en el deporte*, Madrid: Editorial Síntesis, 1998.
- Villegas, J.; Becerro, J.; Rocamora, M. i Zamora, S.: "Termostregulación en relación con el ejercicio en ambientes cálidos", *Medicina Aeroespacial y Ambiental*, 3, vol. 1 (1995), pàg. 122-132.
- Wagner, L.: "A recipe for nutrition and hydration", *Provider*, 27, vol. 1 (2001), pàg. 20-28, 30-31.
- Walton, P. i Rhodes, E. C.: "Glycaemic index and optimal performance", *Sports Med*, 23, vol. 3 (1997), pàg. 164-172.
- Webster, S.; Rutt, R. i Weltman, A.: "Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers", *Med Sci Exerc*, 22 (1990), pàg. 229-234.
- Wilmore, J. H.; Morton, A. R.; Gilbey, H. J. i Wood, R. J.: "Role of taste on fluid intake during and after 90 min of running at 60 % of VO<sub>2max</sub> in the heat", *Med Sci Sports Exerc*, 30, vol. 4 (1998), pàg. 587-595.
- Wong, S. H.; Williams, C. i Adams, N.: "Effects of ingesting a large volume of carbohydrate-electrolyte solution on rehydration during recovery and subsequent exercise capacity", *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 10, vol. 4 (2000), pàg. 375-393.
- Wooton, S.: *Nutrición y Deporte*, Zaragoza: Acribia, 1990.
- Yaspelkis, B. B. i Ivy, J. L.: "The effect of a carbohydrate-arginine supplement on postexercise carbohydrate metabolism", *Int J Sport Nutr*, 9, vol. 3 (1999), pàg. 241-250.