

[r e v i s i ó n]

Ayudas nutricionales ergogénicas en el deporte. Necesidades fisiológicas y cómo cubrirlas. Segunda parte

Raquel Blasco Redondo

Centro Regional de Medicina Deportiva de la Junta de Castilla y León, Gerencia Regional de Salud, Facultad de Medicina de la Universidad de Valladolid. España.

Palabras clave

fatiga muscular, hidratos de carbono, reposición hidroelectrolítica, proteínas

>>RESUMEN

En la etiopatogenia de la lesión deportiva juega un papel primordial la aparición de fatiga muscular, tanto por sobreuso como por una inadecuada carga de trabajo muscular o la no adaptación al mismo. En cualquier caso, el comienzo de la fatiga muscular durante ejercicios submáximos prolongados de alta intensidad está comúnmente asociada con:

1. La reducción, y hasta la deplección, del glucógeno muscular.
2. La reducción de la concentración de glucosa en sangre.
3. La deshidratación.

Por tanto, la ingesta de fluidos con carbohidratos y electrolitos durante el ejercicio prolongado puede evitar la deshidratación, atenuar los efectos de la pérdida de fluidos sobre la función cardiovascular y el rendimiento durante el ejercicio, así como retrasar el comienzo de la fatiga.

Así mismo, el otro elemento fundamental en la aparición de la fatiga muscular tanto aguda como crónica está íntimamente relacionado con un inadecuado balance nitrogenado. Mientras que en el sujeto sedentario el equilibrio nitrogenado se logra con un porcentaje de un 8-10% de las calorías totales derivadas de las proteínas, en la persona con un intenso desgaste muscular este equilibrio puede verse multiplicado por dos, es decir, entre un 15 y un 20% del total energético.

A pesar de que lo relevante no es la cantidad total de proteínas que se toman al día, sino que las comidas realizadas estén equilibradas y, sobre todo, adecuar el momento de la toma con respecto al entrenamiento, a veces resulta difícil conseguir mantener una baja ingesta de grasa y, teniendo en cuenta que las proteínas normalmente van asociadas a grasa (fundamentalmente animal), es habitual considerar los suplementos de proteína pura (exenta de grasa) como una buena manera de llegar a la cifra de aporte adecuada con un máximo del 30% de kcal derivadas de la grasa.

Correspondencia

Raquel Blasco Redondo

Centro Regional de Medicina Deportiva de la Junta de Castilla y León. Avenida Real de Burgos s/n. 47071 Valladolid.

E-mail: rblasco@saludcastillayleon.es

raquelblasco92@hotmail.com

En este orden de cosas, es imprescindible que no pasemos por alto que no todas las proteínas son iguales, ya que en la calidad de las mismas influyen múltiples factores, como son: el origen de la proteína, el perfil de aminoácidos que tiene y los métodos de procesamiento o aislamiento a los que ha sido sometida. Todos estos datos deben tenerse en cuenta a la hora de recomendar y prescribir la dosis, el producto y el momento óptimo de la toma de la proteína.

Nutr Clin Med 2017; XI (3): 156-170

DOI: 10.7400/NCM.2017.11.3.5057

Key words

muscle fatigue,
carbohydrates,
fluid and electrolyte
replacement, protein

>>ABSTRACT

In the etiopathogenesis of sports injury, the appearance of muscular fatigue plays a fundamental role, either because of overuse or because of inadequate workload or lack of adaptation to it. In any case, the onset of muscle fatigue during prolonged high intensity submaximal exercises is commonly associated with:

1. The reduction, and even the depletion, of muscle glycogen.
2. Reduction of blood glucose concentration.
3. Dehydration.

Therefore, the intake of fluids with carbohydrates and electrolytes during prolonged exercise can prevent dehydration, attenuate the effects of fluid loss on cardiovascular function and performance during exercise and delay the onset of fatigue. Likewise, the other fundamental element in the appearance of muscular fatigue both acute and chronic is closely related to an inadequate nitrogen balance. While in the sedentary subject nitrogen balance is achieved with a percentage of 8-10% of the total calories derived from proteins, in the person with intense muscle wasting, this balance can be multiplied by two, that is, between 15 and 20% of the total energy. Although the relevant thing is not the total amount of protein taken per day, but the meals made are balanced and, above all, to adapt the timing of the intake with respect to training, it is sometimes difficult to maintain a low intake of fat and, taking into account that proteins are normally associated with fat (mainly animal), it is usual to consider pure protein supplements (free of fat) as a good way to reach the appropriate amount with a maximum 30% of kcal derived from fat.

In this order of things, it is essential that we do not overlook that not all proteins are the same, since multiple factors have an influence in their quality, such as: the origin of the protein, its amino acid profile, and the processing or isolation methods it has undergone. All these data must be taken into account when recommending and prescribing the dose, the product and the optimal time of protein intake.

Nutr Clin Med 2017; XI (3): 156-170

DOI: 10.7400/NCM.2017.11.3.5057

HIDRATOS DE CARBONO Y REPOSICIÓN HIDROELECTROLÍTICA. EL ANTES, DURANTE Y DESPUÉS

El glucógeno muscular y los niveles de glucosa circulantes son los sustratos más importantes para el músculo que se contrae¹. La fatiga durante el ejercicio prolongado a menudo se asocia con el agotamiento del glucógeno muscular y la reducción de las concentraciones de glucosa en la sangre así como con los niveles de ingesta de carbohidratos durante el ejercicio y el entrenamiento². Y, por lo tanto, se cree que concentraciones elevadas de glucógeno tanto hepático como muscular son esenciales para un rendimiento

óptimo, aunque es poco probable que sólo estos factores sean los responsables de limitar el rendimiento prolongado durante el ejercicio.

Además de la depleción de glucógeno, la deshidratación juega un papel vital en el rendimiento, no sólo en ejercicios de resistencia sino también de manera notable en los de potencia³.

Las pérdidas de sudor se producen por la necesidad de eliminar el calor que se va generando durante el ejercicio. Por este motivo, tiene una relevante importancia anticiparse y tratar niveles de deshidratación superiores al 2-3%, con el fin de contribuir a la prevención de la fatiga. Esta reco-

mendación está en línea con las guías del Colegio Americano de Medicina del Deporte, que indica que se debe prevenir la deshidratación de más del 2-3% del peso corporal, pero también se advierte contra el consumo de alcohol tanto si se trata de ingesta previa o como bebida de reposición, dado que incrementa la tasa de sudoración y no aporta electrolitos suficientes, pudiendo dar como resultado graves cuadros de hiponatremia³.

Teniendo en cuenta lo mencionado en los párrafos anteriores, abordaremos simultáneamente la reposición de hidratos de carbono y de fluidos en los tres estadios en relación con el esfuerzo: Antes, durante y después.

Pre-competición

Carga de carbohidratos

A pesar de que han pasado dos décadas desde la magnífica revisión de Sport Medicine sobre las dietas altas en hidratos de carbono para mantener el glucógeno muscular elevado, como estrategia para mejorar el rendimiento deportivo en los deportes fundamentalmente de resistencia⁴, esta intervención aún permanece vigente. En ella se sugiere que los niveles supercompensados de glucógeno muscular, pueden mejorar el rendimiento (es decir, el tiempo para completar una distancia predeterminada) en comparación con niveles de glucógeno no supercompensados, para aquellos eventos que duran más de 90 minutos. Sin embargo, parece que hay poco o ningún beneficio en la supercompensación del glucógeno muscular cuando la duración del ejercicio es inferior a 90 min. Poco han cambiado las cosas desde entonces, aunque sí las estrategias de supercompensación.

Los atletas de resistencia bien entrenados, pueden lograr la supercompensación de glucógeno sin la necesidad de la fase de agotamiento antes de la carga⁵. Por otro lado, la cantidad de hidratos de carbono necesaria para proporcionar una alta disponibilidad de ellos, necesaria para recuperar las reservas de glucógeno a diario o para promover la carga de glucógeno, va a depender siempre de la duración e intensidad del programa de ejercicio del atleta. Estos requisitos pueden variar de 5 a 12 gr/kg de peso al día dependiendo del atleta y su actividad.

Nos interesa recordar aquí que, no siempre una mayor ingesta de carbohidratos que va a llevar

a lograr mayores reservas de glucógeno, puede dar como resultado un mejor rendimiento deportivo⁶. Esto es debido a que las dietas bajas en grasa alteran los sustratos intramusculares y reducen la lipólisis y por lo tanto la oxidación de la grasa durante el ejercicio. Hemos de tener en cuenta así mismo, que el almacenamiento de glucógeno está asociado con un aumento de peso como resultado de la retención de agua (aproximadamente 3 g por gramo de glucógeno) y esto puede no ser deseable en algunos casos.

Ingesta de carbohidratos inmediatos al esfuerzo (<60 minutos preesfuerzo)

A pesar de que el consumo de una dieta alta en carbohidratos en los días antes del ejercicio, así como la ingestión de comidas ricas en carbohidratos 3-4 h antes del ejercicio, se ha demostrado eficacia eficaz para mejorar el rendimiento deportivo en los entrenamientos de resistencia⁷, hay que tener en consideración que la toma de carbohidratos 30-60 min antes del ejercicio puede dar como resultado hiperglucemia e hiperinsulinemia reactiva, que a menudo, es seguida por una disminución rápida de la glucosa en la sangre, 15-30 minutos después del inicio del ejercicio⁸. Además, la hiperinsulinemia después de la ingesta de carbohidratos, inhibe la lipólisis y la oxidación de la grasa, y esto, puede conducir a un agotamiento del glucógeno muscular más rápido. Por lo tanto, las alimentaciones pre-ejercicio de carbohidratos en la hora antes del entrenamiento o la competición pueden plantear un riesgo potencial de perjudicar el rendimiento⁹.

Por otro lado, hemos de tener en cuenta la denominada hipoglucemia reactiva o de rebote al inicio del esfuerzo. Este descenso de los niveles de la glucosa en la sangre es muy probablemente el resultado de un aumento de la captación de glucosa muscular, así como una reducción de la producción de glucosa en el hígado.

Sin embargo, son escasos por no decir inexistentes, los estudios que han encontrado una capacidad de rendimiento reducida, mientras que la mayoría de los trabajos al respecto, no han evidenciado ningún cambio o hallan una mejora en el rendimiento, después de la ingestión de carbohidratos antes del ejercicio⁵, y se demuestra además, que la discreta hipoglucemia de rebote en la primera etapa del ejercicio, parece ser de poca importancia funcional, ya que no afecta al rendimiento del ejercicio. Esto, sugiere que no

hay necesidad de evitar la ingesta de carbohidratos en la hora previa al ejercicio.

En conclusión, el consejo de evitar la alimentación con carbohidratos en la hora antes del ejercicio es infundado. Algunos atletas pueden desarrollar síntomas similares a los de la hipoglucemia, aunque no siempre están relacionados con bajas concentraciones de glucosa. Lo más importante, la hipoglucemia de rebote, no parece afectar el rendimiento. Para minimizar los síntomas de la hipoglucemia, es deseable un abordaje individual, que podría incluir el ingerir carbohidratos, justo antes del ejercicio o durante el calentamiento, y la selección de carbohidratos con índice glucémico de bajo a moderado.

Ingesta de fluidos pre-ejercicio

Como se comentó anteriormente, la deshidratación puede comprometer el rendimiento deportivo y, por lo tanto, es importante comenzar el ejercicio en un estado de correcta euhidratación.

Es imprescindible el entrenamiento a la hidratación, empezando en las 3-4 horas previas al esfuerzo. Para ello, el individuo debe ingerir bebidas lentamente (entre 5-7 ml / kg de peso corporal) por lo menos 4 horas antes del entrenamiento o la competición. Si el deportista no produce orina, o la orina es oscura o muy concentrada, debe beber lentamente más bebida (añadir 3-5 ml / kg más), aproximadamente 2 horas antes del evento¹⁰.

Por otro lado, especialmente en situaciones de estrés térmico, se sugirió la necesidad de pautar estrategias de hiperhidratación, presumiendo que esta podría mejorar la termorregulación y el rendimiento en el ejercicio¹¹. La mayoría de los trabajos realizados sobre estrategias de hiperhidratación, intentaban llevarlo a cabo mediante fluidos que expanden los espacios extra e intracelulares (por ejemplo, soluciones de agua y glicerol o agua en soluciones hiperosmolares o hipoosmolares).

Sin embargo, el intento de hiperhidratar con fluidos que expanden los espacios extra- e intracelulares produce una grave intolerancia al esfuerzo, especialmente por sus efectos cardiovasculares¹². Además, también existe el riesgo de que la hiperhidratación pueda diluir y disminuir sustancialmente el sodio plasmático antes del

ejercicio, aumentando así el riesgo de hiponatremia dilucional, si los fluidos se sustituyen agresivamente durante el ejercicio¹³. Por último, no debemos olvidar que los excipientes de plasma o agentes hiperhidratantes como el glicerol están prohibidos por la Agencia Mundial Antidopaje.

Durante la competición

Ingesta de carbohidratos durante el esfuerzo

Entrenamiento/competiciones de larga duración

Aunque los mecanismos exactos todavía no se entienden completamente, se sabe desde hace tiempo que la ingesta de carbohidratos durante el ejercicio puede aumentar la capacidad de ejercicio y mejorar el rendimiento del mismo¹⁴.

Es preferible la utilización de diversos carbohidratos que presenten diferentes sistemas de transporte con el fin de facilitar el vaciamiento gástrico y la absorción de líquidos. Esta estrategia, es imprescindible en general, durante el ejercicio de más de 2 h, siendo aquí los efectos de los carbohidratos principalmente metabólicos, manteniendo constante el aporte de glucosa a los músculos que se están ejercitando.

La oxidación exógena de los carbohidratos, está limitada por su absorción intestinal. La glucosa utiliza un transportador dependiente de sodio (SGLT1) para ser absorbida en el intestino. Esta absorción se satura al aportar alrededor de 60 gr de glucosa/h. Sin embargo, cuando se ingiere glucosa a este ritmo y simultáneamente otro carbohidrato (fructosa), que utiliza un transportador diferente, las tasas de oxidación son muy superiores a 1gr/min/l, llegando a alcanzarse hasta 1,26 g/min/l¹⁵.

En general, se puede decir que el uso de distintos hidratos de carbono con diferentes sistemas de transporte, mejoran la velocidad de oxidación de los mismos, hasta en un 75%, si lo comparamos con el aporte de hidratos que utilizan el transportador SGLT1 solamente¹⁴ y, esto, es independiente de que sean administrados en forma líquida, en gel¹⁶ o sólido¹⁷.

Debido a que la absorción de carbohidratos limita la oxidación exógena de los carbohidratos, y la oxidación exógena de los carbohidratos, pare-

ce estar relacionada con el rendimiento del ejercicio, una estrategia potencial obvia, sería aumentar la capacidad de absorción del intestino.

Podríamos incluso sugerir, que el intestino es entrenable y, que las personas que consumen regularmente carbohidratos o tienen un alto consumo diario de carbohidratos, también pueden tener una mayor capacidad para absorberlos. Los transportadores de carbohidratos intestinales, pueden de hecho ser regulados positivamente. Las tasas de oxidación exógena de carbohidratos son mayores después de una dieta alta en carbohidratos. Esto adquiere especial relevancia para el atleta de resistencia, e incluso, podría convertirse en un requisito previo, para que la primera persona rompa la barrera del maratón de 2 horas¹⁸.

Entrenamiento/competiciones de elevada intensidad y corta duración

También se ha demostrado que la ingesta de carbohidratos durante el ejercicio mejora el rendimiento del mismo, incluso cuando este es de alta intensidad (> 75% del VO₂max), y de una duración relativamente corta (~1 h) y, se ha puesto de manifiesto, que el efecto ergogénico durante este tipo de actividad, no es metabólico, sino que puede residir en el sistema nervioso central¹⁴.

Existe evidencia de que los enjuagues bucales con carbohidratos también producen mejoras similares del rendimiento deportivo¹⁹. Esto sugiere que los efectos beneficiosos de la alimentación de carbohidratos durante el ejercicio no se limitan a su ventaja metabólica convencional, sino que también pueden servir como una señal aferente positiva capaz de modificar la producción motora²⁰.

Estos resultados sugieren que no es necesario ingerir grandes cantidades de carbohidratos durante el ejercicio, siempre y cuando este presente una duración inferior a 30-60 min, y que un enjuague bucal con carbohidratos, puede ser suficiente para obtener un beneficio en el rendimiento. En la revisión de estos trabajos en estas condiciones se muestra que los efectos de rendimiento con el enjuague bucal han sido similares a la ingestión de la bebida, por lo que en aquellos deportistas en los que se quejan de malestar gastrointestinal al tomar demasiado líquido du-

rante los entrenamientos, es posible establecer la estrategia de los enjuagues orales, **siempre que la duración del esfuerzo sea inferior a 2 horas**. Por supuesto, cuando el ejercicio es más prolongado (2 h o más), los carbohidratos se convierten en un combustible muy importante y son esenciales para mantener el esfuerzo.

Reposición hidroelectrolítica durante el esfuerzo. La bebida de reposición

La reposición de carbohidratos durante el esfuerzo, está íntimamente ligada a la reposición hidroelectrolítica, de modo que pasaremos en este apartado, a exponerlas conjuntamente.

Para evitar grandes pérdidas de líquidos, tal vez el mejor consejo es que los atletas de resistencia se pesen para evaluar las pérdidas de fluido durante el entrenamiento y las carreras, y limitar las pérdidas de peso al 2-3% durante los ejercicios que duran más de 90 minutos. En ausencia de tal planificación, el asesoramiento concreto es difícil, ya que las diferencias entre individuos, distancias de carreras, perfiles de curso y condiciones ambientales, confundirán cualquier sugerencia. La adición de sodio y carbohidratos a bebidas deportivas es imprescindible para mejorar la absorción de agua.

Durante los eventos que duran más de 30-60 minutos, suele haber necesidad de ingerir líquido durante el ejercicio, para compensar las pérdidas por sudoración. La evaporación y la sudoración son mecanismos claves para disipar el calor que se genera como producto del ejercicio, y la tasa de sudoración, varía según los distintos deportes, la intensidad del ejercicio, condiciones ambientales, características de los deportistas y estado de aclimatación.

En el momento actual, existe una amplia gama de deportes y actividades físicas cada vez más exigentes en la duración y condiciones de práctica. Por otro lado, existen actividades como el montañismo y especialidades de fondo, ultra fondo y otras, que suponen un magnífico ejemplo de la importancia de una correcta reposición hidroelectrolítica, no solamente porque busquemos el máximo rendimiento deportivo, sino porque la pérdida de agua y minerales produce desajustes en el correcto funcionamiento de órganos y sistemas, que ponen en riesgo la vida del practicante.

Durante la realización de una maratón, la reposición de fluidos suele ser difícil, ya que el ritmo de reposición hídrica necesario para compensar las pérdidas puede producir molestias digestivas. Si unimos esto a **las dificultades de beber compitiendo, la mayoría de los estudios realizados en esta área llegan, entre otras, a la conclusión de que la ingesta de agua puede estar comprometida, con un déficit de 0,5 a 1 l/h.**

En general, los atletas deberían intentar beber suficiente fluido como para mantener el balance hídrico, ya que incluso una deshidratación parcial puede comprometer el rendimiento.

Una premisa básica a tener en cuenta, es que el comienzo de la fatiga durante ejercicios submáximos prolongados de alta intensidad está asociada con:

1. **La reducción, y hasta la deplección, del glucógeno muscular.**
2. **La reducción de la concentración de glucosa en sangre.**
3. **La deshidratación.**

Por tanto, la ingesta de fluidos con carbohidratos y electrolitos durante el ejercicio prolongado puede evitar la deshidratación, atenuar los efectos de la pérdida de fluidos sobre la función cardiovascular y el rendimiento durante el ejercicio y retrasar el comienzo de la fatiga.

La mejora en la capacidad de resistencia, es una consecuencia de un efecto ahorrador de glucógeno. **Los depósitos de glucógeno son limitados (10-12% del peso en el hígado y 1-1,5% del peso en los músculos), de modo que si conseguimos mantener los niveles de glucemia circulante gracias a un aporte exógeno de glucosa, se puede conseguir un ahorro de glucógeno muscular. De hecho, si se compara con la ingesta de agua sola, al añadir hidratos de carbono a una solución, consumiéndola a un ritmo de 1 g/min, se reduce la oxidación de glucosa en el hígado hasta un 30%²¹.** En este sentido, está demostrado que el aporte de carbohidratos en las bebidas de rehidratación durante el esfuerzo mejora el rendimiento del deportista²².

Así, en estas pruebas, como en otras en las que no hay interrupciones, hay que beber tanto

como se pueda, siempre que se pueda, y quedará a juicio del atleta el tiempo que se pueda perder comparado con el aumento de rendimiento al rehidratarse frecuentemente. En todas aquellas prácticas que permitan beber en descansos entre periodos de juego, o en las que sus propias características lo permitan, hay que hacerlo constantemente. De lo contrario el gasto cardíaco va a disminuir y se produce hipertermia con aumento de la frecuencia cardíaca y de la percepción de la dureza del esfuerzo²³.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA REPOSICIÓN HIDROELECTROLÍTICA DURANTE LA REALIZACIÓN DE ESFUERZO

Composición de la bebida: La bebida de reposición

Como premisa general debemos indicar que la bebida de reposición siempre **ha de llevar hidratos de carbono y electrolitos** en cantidades adecuadas. Todo lo demás es prescindible.

Carbohidratos orales (CHO)

El ejercicio físico a elevadas temperaturas incrementa las necesidades de CHO en el músculo que trabaja hasta en un 76%. Por ello, la adición de un moderado porcentaje de carbohidratos (6-8%), en un flujo de ingesta de 1.200 ml/h de agua, mejora la absorción y permite remplazar hasta un 80% del agua perdida por el sudor de forma más eficiente.

Esta concentración de CHO está especialmente recomendada para eventos de ejercicio intenso que duran más de 1 hora. Aunque también son adecuadas para la hidratación en ejercicios que duren menos de 1 hora, por la facilitación que producen los CHO en la absorción de agua y electrolitos a nivel del intestino delgado.

Los eventos que duran menos de una hora abarcan la mayoría de los deportes de conjunto, algunos eventos de ciclismo, y virtualmente la mayoría de las competiciones de atletismo, remo y natación. La intensidad del ejercicio podrá variar desde el 75 % a más del 100 % del VO₂ máx. **En muchos casos habrá poca oportunidad de ingerir líquidos, y la mayoría de los deportistas no sacrificarían el tiempo para ello.** Además el

vaciado gástrico está significativamente reducido a intensidades de esfuerzo mayores al 75 % del VO_2 máx. Aquí, por tanto, es especialmente importante el **estado de hidratación previo**.

Pese a todo, existen numerosos estudios que evidencian que la ingesta de soluciones a base de carbohidratos y electrolitos, durante ejercicios intermitentes prolongados, retrasan el agotamiento, de modo que deberemos de encontrar el equilibrio ideal para administrárselas al deportista.

Tenemos que procurar que estas bebidas contengan una **mezcla de carbohidratos de elevado índice glucémico (p.ej., combinación de sacarosa, glucosa, fructosa, dextrinomaltosas, etc...)** con una concentración de alrededor de 60-80 g/L como ya hemos comentado previamente.

Por otro lado no debemos de olvidar que los CHO mejoran la palatabilidad de la bebida, favoreciendo la apetencia de beber y que como comentábamos antes ejercen escaso, por no decir nulo efecto sobre el vaciado gástrico en concentraciones entre el 4-8%²⁴.

Electrolitos:

Ion Sodio:

En principio debería de parecer que no hay necesidad fisiológica de remplazar electrolitos durante una única sesión de ejercicio de duración moderada (menos de 1 hora), particularmente, si el sodio estuvo presente en la comida previa. Sin embargo, no debemos de olvidar que **en situaciones de estrés térmico, la pérdida de electrolitos es superior en un 30% a la que acontece en situaciones de temperatura ambiental adecuada**, incluso en individuos bien adaptados.

Por este motivo, hay que mantener la osmolaridad plasmática por encima del umbral de la sed. Por tanto es obligado incluir sodio en cantidades de 0.5 a 0.7 g/L (como mínimo 110 mg de sodio por cada 250 ml. de bebida) durante la realización de ejercicios de duración mayor a 1 hora.

Debemos señalar aquí, que esta cantidad de sodio excede la cantidad característicamente disponible en la mayoría de las bebidas comerciales, por lo tanto, deberemos estar muy atentos al etiquetado.

La inclusión de sodio, además previene la hiponatremia en personas susceptibles²⁵. Aunque la mayoría de los atletas que beben más fluido del que pierden por el sudor, excretan el exceso por el sudor; en algunas personas el fluido es retenido, y en ese caso si éste es hipoosmolar, existe un riesgo potencial de padecer hiponatremia dilucional.

La intensidad de esfuerzo no guarda relación con los requerimientos de este ion, de modo que incluso a intensidades moderadas de trabajo las necesidades son similares²⁶.

Existen estudios que avalan el limitar la ingesta de fluidos para que no exceda la tasa de sudoración, como medida para reducir el riesgo de hiponatremia²⁶, pero el riesgo de hipo e incluso deshidratación, es importante, con las consideraciones que ya hemos realizado anteriormente.

Ion Potasio:

Con respecto al ion potasio debemos de tener en cuenta que **las pérdidas son mucho menores (4-8 mmol/L), tanto en el trabajo de resistencia como de fuerza**. Esto, asociado a la hiperpotasemia observada en los esfuerzos físicos a una intensidad elevada, hace que su reposición no sea tan necesaria como la del ión sodio, al menos durante el tiempo que dura la ejecución del esfuerzo, aunque sí es conveniente que se incluya en las bebidas utilizadas para reponer las pérdidas una vez finalizada la actividad física, ya que el potasio favorece la retención de agua en el espacio intracelular, por lo que ayuda a alcanzar la rehidratación adecuada^{27,28}. Por tanto está indicada su reposición en el fluido para después del esfuerzo, debiéndose de aportar entre 120-225 mg de K^+ /litro, o lo que es lo mismo entre 2-6mmol/litro.

Ritmo de reposición

No parece fácil establecer el periodo de tiempo ideal entre ingestas para mantener una correcta hidratación. En líneas generales, podemos decir que esto es una cuestión personal, pero sí se puede concluir que es importante beber agua abundantemente, siempre que se pueda. Si no se puede mantener el balance hídrico, se debería ingerir la máxima cantidad de líquido que pueda ser tolerado.

Las consideraciones más comúnmente aceptadas por la literatura especializada para una

correcta hidratación durante el esfuerzo de intensidad en condiciones de temperatura alta nos indican que:

“La reposición óptima se debe de conseguir ingiriendo volúmenes entre 250 y 300 ml, a intervalos de 15 a 20 minutos a una temperatura fresca-fría (entre 5-10°C), con un flujo de 1.000-1.500 ml/h y con una leve concentración del 6% de HC, moderadamente mineralizada y comenzando cuando empieza el ejercicio”^{23, 29-30}.

En estudios publicados sobre el ritmo de reposición hidroelectrolítica, se demuestra que la reposición del 80% de las pérdidas de fluido a través del sudor, sólo causa un incremento pequeño de la temperatura corporal y de la frecuencia cardíaca, así como una discreta disminución del volumen sistólico, durante 2 horas de ejercicio moderado en el calor³¹.

Pero con la ingestión de un volumen de líquido igual al 100% de las pérdidas de agua a través del sudor, se evitan por completo estas alteraciones funcionales durante el ejercicio en el calor, **y el organismo se comporta de forma similar a como lo hace en un entorno con una temperatura ambiental de 22 C.**

Este régimen forzado de reposición hídrica no causa ningún problema gastrointestinal ni produce un aumento del volumen de orina tras finalizar el ejercicio en los sujetos que ya están acostumbrados a beber volúmenes elevados de líquido durante las sesiones previas de familiarización^{32,33}.

Es más, se evidencia que tras los ajustes iniciales propios de la transición de un estado de reposo al ejercicio, los sujetos mantienen unos niveles constantes de frecuencia cardíaca, volumen sistólico, gasto cardíaco, presión arterial media, temperatura corporal, flujo cutáneo y de concentración plasmática de catecolaminas, hasta el final de las 2 horas de ejercicio³⁴.

Por lo tanto, pese a que desde un punto de vista estrictamente fisiológico, el régimen óptimo de reposición hídrica durante el ejercicio en el calor, es aquel en el que se reponen por completo las pérdidas de agua a través del sudor, como ya hemos indicado antes, existen condiciones ambientales caracterizadas por alta temperatura y humedad, junto a velocidad del aire escasa

o inexistente (>35°C a un 75-85% de humedad relativa) **en las que no es posible, incluso para sujetos entrenados y aclimatados al calor, mantener la homeotermia a pesar de estar bien hidratados.**

En esas condiciones, la tasa de sudoración necesaria para mantener dentro de límites aceptables la temperatura central, excede la máxima capacidad de evaporación del entorno. En estos casos, **la única opción para salvaguardar la salud de los deportistas consiste en reducir la producción de calor disminuyendo la intensidad del esfuerzo.**

Con respecto a la reposición durante los períodos de reposo y recuperación, es imprescindible llevar a cabo las mismas medidas de reposición adaptada a los períodos de descanso, con la misma concentración e intentando en la medida de lo posible mantener el balance hídrico.

NIÑOS

Las pautas de ejercicio e hidratación para la actividad física en el calor están dirigidas, por lo general, a adultos activos. La pregunta de si son aplicables a niños sanos es importante, ya que estos grupos pueden entrenarse tanto como los adultos, y representan un gran segmento de la población deportiva.

Los niños están potencialmente en desventaja termorregulatoria dado que tienen una menor tasa de sudoración por unidad de superficie corporal y por glándula sudorípara, y un mayor aumento en la temperatura central conforme se deshidratan³⁵. Además, a pesar de su menor tasa de sudoración, los niños se pueden deshidratar tanto como los adultos y las consecuencias son más graves.

Cuando hay bebidas deportivas isotónicas y con sabor disponibles durante el ejercicio prolongado o después de éste, la ingesta voluntaria de los niños es más alta, por lo tanto, los entrenadores y los padres deben asegurarse de que haya oportunidades adecuadas para la ingesta de líquidos, así como de ofrecer bebidas con buena palatabilidad y **animar a la ingesta de bebida antes, durante, y después del ejercicio. Aproximadamente 1.8-2 ml/ kg cada 15 minutos, con la misma composición que la bebida del adulto, es suficiente para mantener la euhidratación en**

un niño sano, que entrena a intensidad moderada en el calor.

Debe considerarse una mayor ingesta para niños aclimatados, y para aquellos que viven en el trópico, que como consecuencia de su especial aclimatación (débito sudoral que ocasionalmente triplica al del individuo no aclimatado) que podrían sufrir de hipohidratación crónica.

Tras el entrenamiento o la competición

Ingesta de carbohidratos tras el esfuerzo

Un objetivo importante de la dieta diaria del atleta, es de proveer del al músculo de sustratos para abastecer de combustible el programa de entrenamiento, que alcanzará la adaptación óptima, para mejorar su funcionamiento.

Los atletas, deberían intentar optimizar la restauración de glucógeno muscular perdido durante el entrenamiento. A pesar de que se pueden proporcionar recomendaciones generales, preferentemente, en términos de gramos de hidrato de carbono por kilogramo de peso corporal del deportista, es mucho más adecuado realizarlo según las necesidades y el tiempo de recuperación, que vaya a haber entre sesión y sesión de ejercicio.

Tras realizar un esfuerzo físico de más de 1 hora de duración, las reservas de glucógeno muscular pueden quedar deplecionadas con una pérdida, que puede estar en torno al 90%³⁶. Como consecuencia, se precisa un aporte exógeno de sustratos para alcanzar los niveles de glucógeno previos al ejercicio. La recarga completa de las reservas de glucógeno muscular tras el ejercicio, transcurre entre las 24 y 48 primeras horas³⁷, siendo el ritmo de resíntesis, directamente proporcional a la cantidad de carbohidratos en la dieta durante las primeras 24 horas³⁶.

Dietas de 200 g/día de carbohidratos (cantidad necesaria para una actividad habitual) difícilmente podrán restablecer las reservas de glucógeno, por lo que se hace necesario doblar o incluso triplicar la ingesta en situaciones de duros entrenamientos o competiciones seriadas (vuelta ciclista) si se quiere provocar una alto grado de repleción³⁸. Para que la velocidad de resíntesis de glucógeno sea óptima, se deben consumir carbohidratos de alto índice glucémico (patata

asada, judías blancas, copos de maíz, copos de avena, pasta, etc), durante las primeras horas.

Lo adecuado es ingerir comidas con un 70-80% de hidratos de carbono, para evitar ingerir muchas proteínas, fibras y grasas, que, además de suprimir la sensación de hambre, y limitar la ingesta de hidratos de carbono, pueden provocar problemas gastrointestinales³⁹, en cuyo caso son preferibles los preparados líquidos. Hay que tener presente que tras realizar un esfuerzo físico exhaustivo, es normal que el deportista no esté hambriento, prefiriendo ingerir líquidos antes que comidas sólidas.

Reposición hidroelectrolítica tras el esfuerzo. La bebida de reposición

Si bien durante el esfuerzo la ingesta de líquidos es el aspecto más importante, unido a una determinada ingesta de CHO de rápida asimilación, la hidratación postesfuerzo, al igual que la hidratación previa, debe formar parte de un plan integrado con la alimentación.

¿Cuánto volumen?

Es relativamente habitual la existencia de una importante pérdida de peso durante los campeonatos de larga duración y esta, se relaciona con una incorrecta hidratación previa y durante el esfuerzo. Así, la etapa postesfuerzo tiene como finalidad compensar las pérdidas acumuladas, y preparar al deportista, para afrontar sus próximos compromisos en las mejores condiciones.

Conviene señalar que, en las situaciones más extremas y con actividades mantenidas durante días, las pérdidas pueden llegar a 10 litros y los requerimientos totales pueden sobrepasar los 15 litros/día.

Es precisa una reposición de entre el 150-200% del peso perdido durante una sesión de ejercicio para cubrir las pérdidas por sudoración, más la producción de orina^{23,40,41}.

¿Con qué producto?

No es imprescindible que sea líquido... pero a veces no apetece el sólido. La rehidratación post esfuerzo está influenciada fundamentalmente por el volumen y la composición del líquido consumido.

Carbohidratos

Las bebidas de reposición, utilizadas después del entrenamiento o la competición, deben de tener un contenido calórico entre 300 kcal/1.000 ml y 350 kcal/1.000 ml, de las cuales al menos el 75%, deben provenir de una mezcla de carbohidratos de alta carga glucémica como glucosa, sacarosa, maltodextrinas y fructosa. Esto es, idéntica composición, pero empezando desde tres veces más alta la concentración, en orden a reponer más fácilmente, aprovechando la ventana anabólica y el aumento del vaciamiento gástrico, al disminuir la intensidad del esfuerzo.

¿Es imprescindible que sea líquido?, Ciertamente es que la cantidad de fluido que ingiera el deportista, va a variar dependiendo del sabor de la bebida y sus efectos sobre el mecanismo de la sed. Es muy importante, y no debemos de olvidar, que la ingesta de alimentos sólidos, y la composición de estos, juega un papel importante, pero existen muchas circunstancias en las cuales se evita el consumo de alimentos sólidos entre sesiones de ejercicio o inmediatamente después del mismo, que obligan a desestimar la ingesta sólida, como comentábamos previamente.

Por otro lado, debemos recordar que debido a que muchas de las bebidas deportivas no contienen suficiente sodio, como para optimizar el reemplazo de fluidos post ejercicio, los atletas pueden mejorar su reposición hidroelectrolítica, consumiendo conjuntamente una comida que contenga sodio⁴².

Iones

Es imprescindible prestar atención a los electrolitos y minerales, especialmente al Na⁺, más abundante en el líquido extracelular, pero también el K⁺ y Mg⁺⁺. Por otro lado, **las pérdidas basales** (urinarias, digestivas y cutáneas) **van a permanecer al menos 2 horas tras el esfuerzo**. Así, la reposición hidrosalina debe cubrir la totalidad de las pérdidas, y para ello pueden ser necesarios volúmenes de 1,5 ó 2 veces, el perdido durante el esfuerzo⁴³. **Recordemos pues que la inclusión de sodio en o con los fluidos consumidos post ejercicio juega un papel fundamental en la retención del agua, y por lo tanto en la correcta rehidratación, ya que reduce la diuresis que se produce cuando se consume agua común. El sodio ayuda al proceso de rehidrata-**

ción, manteniendo la osmolaridad del plasma y por lo tanto, el deseo de beber.

Como resumen podríamos resaltar que es importante acompañar el agua ingerida, de alimentos sólidos, ya que éstos aportan los oligoelementos necesarios para una correcta hidratación. Este planteamiento de una hidratación, dentro de la estrategia integral de nutrición del deportista en campeonatos de larga duración, donde muchas pruebas o muchos partidos se suceden en varios días, precisa contemplar la variedad en comidas y bebidas que aseguren los nutrientes y faciliten la ingesta de líquido. Hay que buscar una adecuada palatabilidad que invite a beber⁴⁴.

INGESTA PROTEICA Y RENDIMIENTO DEPORTIVO

Proteínas y derivados proteicos. ¿Está justificada su suplementación en la mejora del rendimiento deportivo?

Mientras que en el sujeto sedentario el equilibrio nitrogenado se logra con un porcentaje de un 8-10% de las calorías totales derivadas de las proteínas, en el deportista, este equilibrio puede verse multiplicado por dos, es decir, entre un 15 y un 20% del total energético.

Al mismo tiempo, mantener una baja ingesta de grasa es obligado y, teniendo en cuenta que las proteínas normalmente van asociadas a grasa (fundamentalmente animal), es habitual considerar los suplementos de proteína pura (exenta de grasa), como una buena manera de llegar a la cifra de ingesta de 1,8 g/kg/día con un máximo del 30% de kcal derivadas de la grasa.

La mayoría de las enzimas implicadas en la síntesis proteica a nivel celular, actúan a la máxima velocidad cuando la concentración intracelular de aminoácidos (AA) está entre 10 y 30 μM (generalmente esos niveles están mucho más altos después de la ingesta).

Además, el aumento de la síntesis proteica, ocurre tras la ingesta de comidas que contienen hidratos de carbono (HC), como consecuencia del efecto insulínico de dicha mezcla. Es por ello por lo que tradicionalmente se ha recomendado que, después de un esfuerzo físico intenso, lo ideal es tomar HC y algo de proteína (nada de grasa).

A la luz de lo que se sabe, da la impresión de que lo relevante no es la cantidad total de proteínas que se toman al día, sino que las comidas realizadas estén equilibradas y, sobre todo, que se ingiera inmediatamente (hablaremos de esa **inmediatez** en el siguiente punto), después de entrenar, una pequeña cantidad de proteína unida a HC.

Una forma de ingerir proteínas sin grasa, fáciles de preparar y de consumir, es tomar aislado de suero de leche.

El Panel de Expertos de la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) estableció que la calidad de las proteínas de los productos dietéticos utilizados con finalidad proteica fuera alta, fijando como mínimo un 70% de Utilización Proteica Neta (NPU) y, que si se les añade vitamina B₆, ésta estuviera en una proporción no inferior a 0,02 mg/g de proteínas.

- Dividió estos productos en 2 grupos⁴⁴.
- Concentrados proteicos, en los cuales las proteínas deberían representar como mínimo un 70% de la materia seca.

Alimentos enriquecidos en proteínas, en los que éstas deben proporcionar al menos el 25% de la energía del alimento.

Es importante destacar que el Panel de Expertos de la EFSA para productos dietéticos, precisa claramente que está suficientemente establecida la relación causa y efecto, entre la ingesta diaria de proteínas y el aumento o mantenimiento de la masa muscular⁴⁴.

Estrategia de suplementación dietética

En practicantes de ejercicio de bajo nivel de intensidad, como es un programa general de *fitness* o pesas, la ingestión de 0,8-1 g/kg y día de proteína es suficiente, mientras que con niveles de intensidad moderados los requerimientos aumentan a 1-1,5 g/kg por día y si son de altos niveles de intensidad pueden alcanzar los 1,5-2 g/kg por día.

Lo que parece estar claro es que rebasar los 2 g/kg y día no va a suponer un beneficio extra. Concretamente, si tenemos en cuenta la ingesta calórica total, se recomienda que el consumo

de proteínas del deportista no rebase el 20% del consumo calórico diario total, ya que cuando se sobrepasa este umbral, la proteína pierde su efecto anabólico debido a un importante incremento en la producción endógena de miostatina.

Por este motivo, si el deportista tiene como objetivo aumentar la masa muscular, debe aumentar el aporte calórico total de forma equilibrada y no el procedente únicamente de las proteínas.

Tipos de proteínas

No debemos pasar por alto que no todas las proteínas son iguales, ya que influyen múltiples factores en la calidad de la misma como son: el origen de la proteína, el perfil de aminoácidos que tiene y los métodos de procesamiento o aislamiento a los que ha sido sometida. Estas diferencias pueden influir en la disponibilidad de los aminoácidos y péptidos (p. ej. la α -lactoalbúmina, β -lactoglobulina, glicomacropéptidos, inmunoglobulinas, lactoperoxidasas, lactoferrina, etc.), lo cual se ha relacionado con la calidad, actividad metabólica de la proteína y determinadas propiedades biológicas.

Como ejemplo podemos poner que de una misma fuente proteica como la leche, dos tipos de proteínas obtenidas de ella, como son la caseína y el suero, se absorben de forma diferente, siendo la absorción de la primera más lenta que la de la segunda, hecho que afectará directamente a los procesos de catabolismo y anabolismo.

Así, si queremos tener una buena fuente de aminoácidos durante las horas de sueño la caseína sería una mejor opción, mientras que si lo queremos es garantizar una rápida recuperación tras una sesión de entrenamiento, la proteína del suero sería más adecuada.

Las mejores fuentes de proteína bajas en grasas encontradas en los alimentos son el pollo sin piel, el pescado, la clara de huevo y la leche desnatada. En cuanto a las mejores proteínas disponibles en las tiendas de suplementación tendríamos las proteínas del huevo (ovoalbúmina) y de la leche en general (concretamente la proteína de suero, el calostro y la caseína).

Si bien es cierto que es importante el tipo de proteína empleado, si ésta tiene un alto valor biológico, las diferencias existentes en cuanto a la

absorción y liberación de aminoácidos al torrente sanguíneo son poco importantes en el efecto final que se ejerce sobre la síntesis proteica. Así, por ejemplo, si se compara la proteína de suero de leche, que como bien sabemos tiene una rápida absorción, con la caseína, que es de absorción más lenta, el efecto final de ambas proteínas en la síntesis proteica es significativamente igual y superior al del placebo⁴⁵, si bien parece ser que la combinación de ambas proteínas es la medida más efectiva a la hora de favorecer el entorno anabólico en el deportista, superando incluso a la combinación de proteína de suero con glutamina y aminoácidos ramificados.

Momento de la toma de proteína. El timing proteico y la ventana anabólica

Toma de proteína durante el entrenamiento

La **síntesis proteica** durante el ejercicio **disminuye**, debido a que la prioridad por obtener energía para la contracción muscular pone en marcha ciertas rutas metabólicas que son incompatibles con la síntesis proteica, de modo que la ingesta de proteínas durante el entrenamiento va a dificultar la reposición de lo que realmente nos importa (agua y electrolitos, y esto debería de ser tratado en profundidad en otro tema, habida cuenta que va a facilitar un óptimo estado anabólico) y no va a facilitar la síntesis proteica.

Es primordial revertir esta situación de catabolismo muscular, sin embargo, tras el cese de la actividad física, transcurren 45 min hasta que se equilibra la **homeostasis** entre el medio intra y extracelular, lo que afecta al **transporte del aminoácidos**. **A partir de ahí, se reiniciará la resíntesis proteica.**

Toma de proteína tras el entrenamiento

Una creencia muy extendida es la de que existe la imperiosa necesidad de utilizar la ventana anabólica y por lo tanto debemos de **consumir** gran parte de la **proteína** diaria inmediatamente **después de entrenar**, ya que de lo contrario se corre el riesgo de desarrollar menos masa muscular o incluso de perderla.

La realidad se aleja bastante de esta creencia. En contra de lo que el sentido común y la mayoría de los trabajos publicados nos puedan

decir, las **necesidades de proteína** después del entrenamiento **son menores** que en cualquier otro momento del día en cuanto a efectos sobre la **síntesis proteica miofibrilar**. (**no nos estamos refiriendo a repleción de los niveles de glucógeno muscular en este caso**).

En el consumo de proteína en combinación con el entrenamiento de fuerza, las necesidades de aminoácidos esenciales, en particular la leucina se reducen a 0,025g/kg inmediatamente después del entrenamiento de fuerza frente a 0,045g/kg necesarios para estimular al máximo la síntesis proteica en tejido muscular una vez que han pasado 1-2 horas de finalizado este⁴⁶.

Esta disminución en las necesidades proteicas inmediatamente después del entrenamiento de fuerza es debido a:

- La **contracción muscular** hace que se liberen mioquinas como la **IL-6** que interacciona con quinasas reguladas extracelularmente como **ERK1-2**, regulando y facilitando positivamente la **síntesis proteica**⁴⁷⁻⁴⁹.
- La **tensión mecánica** que se produce durante el entrenamiento de fuerza aumenta las concentraciones intracelulares de **ácido fosfatídico** debido al daño sobre las membranas celulares, actuando éste como segundo mensajero **activando mTORC1**, y facilitando positivamente la **síntesis proteica**⁴⁷⁻⁴⁹.
- El **aumento del flujo sanguíneo** (hiperemia) que permite que la concentración de sustratos circulantes que facilitan la resíntesis proteica lleguen más y mejor al musculo activo⁴⁶.

En definitiva, el entrenamiento de fuerza hace más permisivo al tejido muscular para iniciar la síntesis proteica, por eso las necesidades de proteína inmediatamente después del esfuerzo disminuyen en comparación con el resto del día.

En principio, no es necesario consumir cantidades importantes de proteína después de entrenar ya que las necesidades son menores que en el resto del día. Según esto: ¿Es mejor recomendar consumir proteína inmediatamente después de entrenar? ¿O deberíamos esperar un tiempo?

La síntesis proteica se ve aumentada después de un entrenamiento con cargas, hasta 2-3 horas

después del mismo, de hecho, aunque empiece a declinar a partir de las 3 horas, sigue por encima de los valores basales 24 horas después del entrenamiento.

Como conclusión y aplicándolo a la práctica. No es necesario ingerir proteína al terminar el entrenamiento de forma inmediata. Si se ha consumido **proteína antes** (en una colación normal) o **Aminoácidos de Cadena Ramificada (BCAAs) durante** el entrenamiento, se puede esperar entre 1 y 3 horas sin efectos negativos sobre el desarrollo muscular y recuperación, ya que durante este periodo de tiempo es cuando la síntesis proteica se ve más facilitada.

Por otro lado, tampoco es necesario que la comida posterior al entrenamiento contenga una cantidad excesiva de proteína. Aproximadamente unos 20 gramos de cualquier fuente de proteína de elevado valor biológico, adecuada concentración (aislado mejor que concentrado) y buena digestibilidad (Whey protein), unida a hidratos de carbono, nos va a permitir facilitar la resíntesis proteica de una manera adecuada.

CONCLUSIONES

- Mientras que en el sujeto sedentario el equilibrio nitrogenado se logra con un porcentaje de un 8-10% de las calorías totales derivadas de las proteínas, en el deportista, este equilibrio puede verse multiplicado por dos, es decir, entre un 15 y un 20% del total energético.
- Lo relevante no es la cantidad total de proteínas que se toman al día, sino que las comidas realizadas estén equilibradas y, sobre todo,

adecuar el momento de la ingesta con respecto al entrenamiento.

- Las mejores fuentes de proteína bajas en grasas encontradas en los alimentos son el pollo sin piel, el pescado, la clara de huevo y la leche desnatada.
- En cuanto a las mejores proteínas disponibles en las tiendas de suplementación tendríamos las proteínas del huevo (ovoalbúmina) y de la leche en general (concretamente la proteína de suero, el calostro y la caseína).
- En practicantes de ejercicio de bajo nivel de intensidad, como es un programa general de fitness o pesas, la ingestión de 0,8-1 g/kg y día de proteína es suficiente, mientras que con niveles de intensidad moderados los requerimientos aumentan a 1-1,5 g/kg por día y si son de altos niveles de intensidad pueden alcanzar los 1,5-2 g/kg por día.
- No es necesario ingerir proteína al terminar el entrenamiento de forma inmediata. Si se ha consumido **proteína antes** (en una colación normal) o **BCAAs durante** el entrenamiento se puede esperar entre 1 y 3 horas sin efectos negativos sobre el desarrollo muscular y recuperación.
- No es necesario que la comida posterior al entrenamiento contenga una cantidad excesiva de proteína. Aproximadamente unos 20 gramos de cualquier fuente de proteína de elevado valor biológico, adecuada concentración (aislado mejor que concentrado) y buena digestibilidad (Whey protein), unida a hidratos de carbono, nos va a permitir facilitar la resíntesis proteica de una manera adecuada.

BIBLIOGRAFÍA

1. Romijn JA, Coyle EF, Sidossis LS, Gastaldelli A, Horowitz JFE. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*. 1993;265: E380-E391.
2. Jeukendrup, A Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*. 2004;20:669-77.
3. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007;39:377-90
4. Hawley JA, Schabort EJ, Noakes TD, Dennis SC. Carbohydrate loading and exercise performance: An update. *Sports Medicine*. 199;24:73-81.
5. Jeukendrup AE. The myths surrounding pre-exercise carbohydrate feeding. *Annals of Nutrition and Metabolism*. 2011;57(suppl. 2):18-25.

6. Coyle EF, Jeukendrup AE, Oseto MC, Hodgkinson BJ, Zderic TW. Low-fat diet alters intramuscular substrates and reduces lipolysis and fat oxidation during exercise. *American Journal of Physiology: Endocrinology and Metabolism*. 2001;280:391–8.
7. Jeukendrup A. Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*. 2004; 20:669–77.
8. Foster C, Costill DL, Fink WJ. Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Medicine and Science and Sports*. 1979;11:1–5.
9. Koivisto VA, Karonen SL, Nikkila EA. Carbohydrate ingestion before exercise: Comparison of glucose, fructose, and sweet placebo. *Journal of Applied Physiology*. 1981;51:783–7.
10. Sawka MN, Burke LM, Eichner ER, Maughan RJ, Montain SJ, Stachenfeld NS. American College of Sports Medicine position stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007; 39: 377–90.
11. Van Rosendal SP, Osborne MA, Fassett RG, Coombes JS. Guidelines for glycerol use in hyperhydration and rehydration associated with exercise. *Sports Medicine*. 2010;40:113–29.
12. Latzka WA, Sawka MN, Montain SJ, Skrinar GS, Fielding RA, Matott, RP. Hyperhydration: Tolerance and cardiovascular effects during uncompensable exercise-heat stress. *Journal of Applied Physiology*. 1998;84: 1858–64.
13. Montain SJ, Chevront SN, Sawka MN. Exercise associated hyponatraemia: Quantitative analysis to understand the aetiology. *British Journal of Sports Medicine*. 2006;40:98–105.
14. Jeukendrup AE, Moseley L. Multiple transportable carbohydrates enhance gastric emptying and fluid delivery. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. 2010;20:112–21
15. Jentjens RL, Moseley L, Waring RH, Harding LK, Jeukendrup AE. Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *Journal of Applied Physiology*. 2004; 96:1277–84.
16. Pfeiffer B, Stellingwerff T, Zaltas E, Jeukendrup AE. CHO oxidation from a CHO gel compared with a drink during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010;42:2038–45.
17. Pfeiffer B, Stellingwerff T, Zaltas E, Jeukendrup AE. Oxidation of solid versus liquid CHO sources during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010;42:2030–7.
18. Stellingwerff T, Jeukendrup AE. Authors' reply to Viewpoint by Joyner *et al.* entitled "The Two-Hour Marathon: Who and When?". *Journal of Applied Physiology*. 2011;110:278–93.
19. Jeukendrup AE, Chambers ES. Oral carbohydrate sensing and exercise performance. *Current Opinion in Clinical Nutrition and Metabolic Care*. 2010; 13:447–51
20. Gant N, Stinear CM, Byblow WD. Carbohydrate in the mouth immediately facilitates motor output. *Brain Research*. 2010;1350:151–8.
21. Burke LM, Claassen A, Hawley JA, Noakes TD. Carbohydrate intake during prolonged cycling minimizes effect of glycemic index of preexercise meal. *J Appl Physiol*. 1998;85:2220–6.
22. Wagenmakers AJM, Brouns F, Saris WHM, Halliday D. Oxidation rates of orally ingested carbohydrates during prolonged exercise in men. *J Appl Physiol*. 1993;75:2774–80.
23. American College of Sports Medicine. ACSM Position Stand on Exercise and Fluid Replacement. *Med Sci Sports Exerc*. 1996;28:i-vii
24. Rico-Sanz J, *et al.* Effects of hyperhydration on total body water, temperature regulation and performance of elite young soccer player in a warm climate. *Int. J. Sports Med*. 1999;17:85–91.
25. Sawka M, Montain SJ. Fluid and electrolyte supplementation for exercise heat stress. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2000;72:564–72.
26. Vrigens DMG, Rehrer NJ. Sodium-free fluid ingestion decreases plasma sodium during exercise in the heat. *J Appl Physiol*. 1999;86:1847–51.
27. Sulzer NU, Schwellnus MP, Noakes TD. Serum electrolytes in Ironman triathletes with exercise-associated muscle cramping. *Med Sci Sports Exerc*. 2005;37:1081–5.
28. Maughan RJ, Leiper JB, Shirreffs SM. Factors influencing the restoration of fluid and electrolyte balance after exercise in the heat. *Br J Sports Med*. 1997;31:175–82
29. Casa DJ, PM Clarkson, WO Roberts. American College of Sports Medicine roundtable on hydration and physical activity: consensus statements. *Curr Sports Med Rep*. 2005;4:115–27
30. Grupo de Trabajo sobre Nutrición en el Deporte de la Federación Española de Medicina del Deporte. Consenso sobre bebidas para el deportista. Composición y pautas de reposición de fluidos. Documento de Consenso de la Federación Española de Medicina del Deporte. *Arch Med Deporte*. 2008;126:245–58.

31. Laursen PB. Long distance triathlon: demands, preparation and performance. *J Hum Sport Exerc.* 2011;6:121-7.
32. Schweltnus MP, Drew N, Collins M. Increased running speed and previous cramps rather than dehydration or serum sodium changes predict exercise-associated muscle cramping: a prospective cohort study in 210 Ironman triathletes. *Br J Sports Med.* 2010; 9:142-51.
33. Wharam PC, Speedy DB, Noakes TD, Thompson JM, Reid SA, Holtzhausen LM. NSAID use increases the risk of developing hyponatremia during an Ironman triathlon. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:618-22
34. Hargraeves M, Dillo P, Angus D, Febbraio M: Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J Appl Physiol.* 1995;80:363-6.
35. Cerani J. Termorregulación en el niño deportista. *Arch Med Deporte.* 1993;37:59-64.
36. American College of Sports Medicine. Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:2130- 45.
37. Coyle EF, Jeukendrup AE, Wagenmakers AJ, Saris WH. Fatty acid oxidation is directly regulated by carbohydrate metabolism during exercise. *Am J Physiol.* 1997;273:238-75.
38. Villa Vicente JG, González Gallego J. Papel de la suplementación energética en el rendimiento deportivo. En: Culebras J, García de Lorenzo A. y González Gallego J. *Nutrición por vía enteral.* Madrid: Aula Médica, 1994
39. Coyle EF. Timing and method in increased carbohydrate intake to cope with heavy training competition and recovery. *J Sports Sci* 1991;9:29-52.
40. Chevront SN, R Carter III SJ, Montain M, N Sawka. Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004;14:532–540.
41. American College of Sports Medicine. Position Stand: Heat and cold illnesses during distance running. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:i-x.
42. Shirreffs SM, Taylor AJ, Leiper JB, Maughan RJ Post-exercise rehydration in man: Effects of volume consumed and drinks. *Med Sci Sports Exerc.* 1996; 28:1260-71.
43. Borsheim E, Aarsland A, Wolfe RR. Effect of an amino acid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2004;14:255-71.
44. European Food Safety Authority (EFSA). Panel on Dietetic Products, Nutrition and Allergies (NDA). Scientific opinion on dietary reference values for protein. *EFSA Journal* 2012;10:2557.
45. Tipton KD, Elliott TA, Cree MG *et al.* Ingestion of casein and whey proteins results in muscle anabolism after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:2073-81.
46. Reidy PT, Rasmussen BB. Role of Ingested Amino Acids and Protein in the Promotion of Resistance Exercise–Induced Muscle Protein Anabolism. Department of Nutrition and Metabolism, University of Texas Medical Branch, Galveston, TX.
47. Christian PF. Interleukin-6 in acute exercise and training: what is the biological relevance? Centre of Inflammation and Metabolism, Department of Infectious Diseases and Copenhagen Muscle Research Centre, Rigshospitalet and Faculty of Health Sciences, University of Copenhagen, Denmark. 2006.
48. Joy JM, Gundermann DM, Lowery RP *et al.* Phosphatidic acid enhances mTOR signaling and resistance exercise induced hypertrophy. *Nutrition & Metabolism.* 2014;11:29
49. Dreyer HC, Fujita S, Cadenas JG, Chinkes DL, Volpi E, Rasmussen BB. Resistance exercise increases AMPK activity and reduces 4E-BP1 phosphorylation and protein synthesis in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology.* 2006;576:613-24.