

[Imprimir Artículo](#)

SSE #107 Dietas altas en carbohidratos: ¿Mejoran el rendimiento en el ejercicio?

Clyde Williams, Ph.D. y David Lamb, Ph.D.

11/20/2008

VOLUMEN 21 (2008) Número 1

Clyde Williams, PhD, FACSM

*Profesor de Ciencias del Deporte
Escuela de Ciencias del Deporte y el Ejercicio
Universidad de Loughborough
Loughborough, Inglaterra*

David Lamb, PhD, FACSM

*Profesor Emérito de Fisiología del Ejercicio
Escuela de Actividad Física y Servicios Educativos
Universidad del Estado de Ohio
Columbus, Ohio*

- La fatiga durante el ejercicio intenso y prolongado frecuentemente está asociada con la disminución o el agotamiento de los almacenes de glucógeno muscular.
- Los almacenes de glucógeno muscular y hepático pueden aumentarse en preparación para una competencia de resistencia al consumir una dieta alta en carbohidratos (por ejemplo, 8-10 g/kg por día) durante 1-3 días previos a la competencia.
- En hombres, una dieta alta en carbohidratos generalmente mejora el tiempo en que se puede sostener el ejercicio a un paso constante (capacidad de resistencia) e incrementa el rendimiento un poco menos consistentemente en pruebas contrarreloj con duración de 90 minutos o más.
- No es clara la evidencia de si la práctica de consumir diariamente una dieta alta en carbohidratos (en comparación con una dieta moderada en carbohidratos) por muchos días de entrenamiento, mejorará el rendimiento o no. Los atletas deben consumir al menos 5-6 g de carbohidratos/kg de peso corporal todos los días durante el entrenamiento y aumentar esta cantidad a 8-10 g/kg durante el día siguiente a una sesión de entrenamiento exhaustivo y por varios días antes de competencias de resistencia importantes.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas las investigaciones han demostrado repetidamente que la ingesta de bebidas deportivas que contienen carbohidratos durante el ejercicio de resistencia puede mejorar el rendimiento (Jeukendrup, 2007). Pero ¿qué hay acerca del consumo de carbohidratos los días antes del ejercicio? El propósito de este artículo es revisar brevemente la evidencia que tiene que ver con la pregunta de si el consumo de dietas altas en carbohidratos antes de la competencia de resistencia puede aportar un beneficio ergogénico.

Hace un siglo, la recomendación general a un atleta que se preparaba para una competencia o un periodo de entrenamiento intenso era consumir una dieta que fuera rica en proteína con la adición de carbohidratos. Esta recomendación promovió las mismas ideas erróneas que tuvieron los atletas de la antigüedad y que asociaban al consumo de carne con el crecimiento muscular y mejoras en la fuerza. La dieta básica estuvo compuesta principalmente por alimentos que contienen carbohidratos – pan, papas, arroz y pasta – porque eran abundantes y generalmente también más baratos que la carne. Cuando nos trasladamos de una fuerza de trabajo involucrada principalmente en labores manuales a una sociedad más mecanizada, la producción de gran cantidad de alimentos llevó a una mayor disponibilidad y también a un mayor consumo de proteína en varias de sus formas. Situándose contra este antecedente de una mayor disponibilidad de una gran variedad de alimentos, es interesante que el papel esencial de los carbohidratos como fuente de energía para el ejercicio intenso comenzara a ser apreciado por los científicos en los inicios del siglo veinte.

REVISIÓN DE LAS INVESTIGACIONES

Justificación de una dieta alta en carbohidratos

A principios del siglo veinte llegó a ser cada vez más evidente que los carbohidratos eran una fuente de energía importante en el músculo esquelético. En una serie de estudios significativamente importantes, Christensen y Hansen (1938) mostraron muy claramente que después de varios días de seguir una dieta alta en carbohidratos, sus sujetos fueron capaces de andar en bicicleta por un tiempo significativamente más largo que después del mismo periodo en su dieta normal mixta. Casi 30 años más tarde, el mecanismo que relaciona a una dieta alta en carbohidratos y la capacidad de ejercicio se demostró en elegantes estudios realizados por Bergström y colaboradores (1967). Utilizando una técnica de biopsia con aguja, fueron capaces de analizar el contenido de carbohidratos (glucógeno) en muestras de músculos esqueléticos humanos antes y después del ejercicio así como después de dietas con varias cantidades de carbohidratos. Encontraron que consumir una dieta alta en carbohidratos en los días siguientes a un periodo de ejercicio intenso aumenta los almacenes de glucógeno muscular a valores mayores a lo normal. Esta “supercompensación” de glucógeno muscular es un fenómeno local porque sólo ocurre en músculos que han estado activos, lo cual demostraron estos científicos Suecos en un estudio en el que se colocaron en lados opuestos de un cicloergómetro, cada uno pedaleando hasta la fatiga con una sola pierna (Bergström & Hultman, 1966). Encontraron que después de 3 días con una dieta rica en carbohidratos (“carga de carbohidratos”), sólo las concentraciones de glucógeno en la pierna ejercitada aumentaron a valores por arriba de lo normal.

Protocolos para la carga de carbohidratos

Bergström y colaboradores (1967) describieron el protocolo “clasico” de carga de carbohidratos:

- 3 días de dieta moderada en carbohidratos (50% de la energía a partir de carbohidratos) y entrenamiento intenso, terminando con ejercicio hasta la fatiga a 75% del VO_2max , después...

- 3 días de dieta baja en carbohidratos (10% de carbohidratos) y entrenamiento intenso, terminando con otra sesión de ejercicio exhaustivo para agotar más los almacenes de glucógeno, después...
- 3 días de dieta alta en carbohidratos (90% de carbohidratos) y disminución del entrenamiento.

En el estudio reportado por Bergström y colaboradores (1967), la dieta de carga de carbohidratos y el régimen de ejercicio aumentaron las concentraciones de glucógeno muscular 170% por encima de los valores normales (Figura 1).

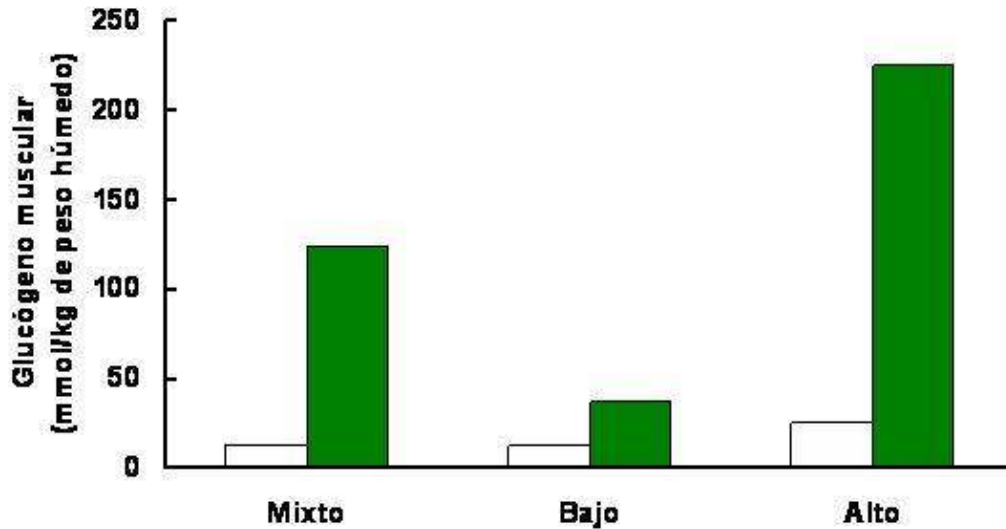


FIGURA 1. Concentraciones de glucógeno muscular antes (barras vacías) y después (barras verdes) de 3 días con una dieta mixta, 3 días con una dieta baja en carbohidratos y 3 días con una dieta alta en carbohidratos. Note el gran aumento en la concentración de glucógeno después de 3 días con la dieta alta en carbohidratos.

Estos y subsecuentes estudios en bicicleta demostraron una fuerte relación entre el tamaño de los almacenes de glucógeno muscular antes del ejercicio y el tiempo hasta el agotamiento (Ahlborg et al., 1967). Por lo tanto, no es sorprendente que los atletas adopten estos patrones de dieta y ejercicio para aumentar sus almacenes de glucógeno antes de la competencia.

Aunque este procedimiento "clásico" de dieta y ejercicio eleva las concentraciones de glucógeno muscular a valores altos, los atletas encontraron que 3 días en una dieta baja en carbohidratos no sólo fue muy desagradable sino que también ocasionó que tuvieran dificultad para completar sus entrenamientos normales. La propuesta alternativa más exitosa fue el "método modificado", el cual Sherman y colaboradores (1981) demostraron que era tan efectivo para los corredores que el método tradicional de carga de carbohidratos. Utilizando este método, los atletas disminuían la intensidad y el volumen de su entrenamiento durante la semana antes de la competencia e incrementaban el contenido de carbohidratos de sus dietas a 9-10 g/kg de peso corporal durante los últimos 3 días antes del evento.

Algunos investigadores han utilizado una versión de carga de carbohidratos que incluye sólo unos pocos días en una dieta alta en carbohidratos antes del ejercicio prolongado (Burke et al., 2000; Rauch et al., 1995). En un estudio, los almacenes de glucógeno muscular aumentaron más allá de los valores después del ejercicio con sólo 24 h de carga de carbohidratos (Bussau et al., 2002). En ese experimento, los atletas consumieron 10 g de carbohidratos por kg de peso corporal durante el día siguiente a su sesión normal de entrenamiento intenso. Cuando estos ciclistas continuaron la carga de carbohidratos por 48 h adicionales, no hubo un incremento adicional en la concentración de glucógeno muscular. Vale la pena notar que estos sujetos fueron ciclistas de resistencia bien entrenados y aunque su procedimiento de carga de carbohidratos no incluyó una fase de depleción de glucógeno deliberada, sus almacenes de glucógeno probablemente estuvieron disminuidos como consecuencia de su entrenamiento del día anterior (Bussau et al., 2002). Estas bajas concentraciones de glucógeno probablemente estimularon la actividad del GLUT 4 (el GLUT 4 es el transportador de la membrana responsable de la captación de glucosa dentro de las células musculares) y el almacenaje de glucógeno. Esta información es alentadora para aquellos atletas que, por la razón que sea, son incapaces de tomar varios días para disminuir su entrenamiento y hacer una carga de glucógeno durante 3 días después de la competencia.

Los atletas están ansiosos de continuar entrenando mientras están en carga de carbohidratos pero se preocupan de que esto pueda retrasar la recuperación de los almacenes de glucógeno muscular. Como puede esperarse, parece haber cierto retraso de la resíntesis de glucógeno durante la primera hora de recuperación mientras se

realiza ejercicio de baja intensidad (40-50% del VO_2max) al comparar con una recuperación pasiva (Choi et al., 1994). Sin embargo, investigación más reciente sugiere que sesiones de 20 min diarios de ejercicio ligero (~ 65% VO_2max) no altera el proceso de supercompensación (Goforth et al., 2003). Aún más, una vez alcanzadas las concentraciones altas de glucógeno muscular, los niveles de glucógeno persisten por 3-4 días después de la fase de carga de carbohidratos de 3 días, aún después de regresar a un consumo de carbohidratos moderado (60% del consumo total de energía) (Goforth et al., 1997; 2003).

Limitaciones de la investigación publicada

En la mayoría de las investigaciones se estudia sólo ciclismo o carrera y se prueba la capacidad de resistencia, no el rendimiento contrarreloj que se da en la "vida real". La cicloergometría es el principal tipo de rendimiento estudiado en el laboratorio porque la producción de potencia puede controlarse cuidadosamente y porque los sujetos están en una postura relativamente estable que permite al investigador fácilmente recolectar muestras de sangre y registrar el consumo de oxígeno, la función respiratoria, la temperatura corporal central, la frecuencia cardíaca y la presión arterial. Más aún, los músculos vastos laterales de los muslos son relativamente largos e intensamente utilizados en el ciclismo y pueden obtenerse biopsias para determinar los contenidos de glucógeno muscular y otros compuestos involucrados en el metabolismo energético. La banda rodante también se ha utilizado en estudios de dieta porque también puede ser relativamente fácil de controlar. Por otra parte, los estudios de campo de deportes tales como el fútbol, fútbol americano, básquetbol, rugby, tenis y natación son problemáticos de realizar debido a la incapacidad de controlar adecuadamente los efectos del ambiente, la dirección del entrenador, el juego de los compañeros de equipo o de los oponentes y el estilo de juego, todo lo que hace difícil o imposible determinar los verdaderos efectos de la manipulación de la dieta. De acuerdo con esto, típicamente debemos extrapolar los resultados de estudios con ciclistas y corredores en un intento de determinar qué efectos de los cambios de la dieta pueden estar en la mayoría de los tipos de competencia deportiva.

Estudios de rendimiento en el ejercicio utilizan pruebas que caen dentro de dos amplias categorías. Aquellas pruebas de ejercicio que requieren que los sujetos hagan ejercicio el mayor tiempo posible a una producción de potencia fija (generalmente en bicicleta) o a un ritmo constante (generalmente en bicicleta o carrera) pueden considerarse como evaluaciones de la "capacidad de resistencia". Por otra parte, las pruebas de ejercicio que requieren que los sujetos completen una cantidad fija de trabajo tan rápido como sea posible, por ejemplo, el tiempo para completar una carrera de 10 km, o tanto trabajo como sea posible en un tiempo establecido (generalmente durante el ciclismo) puede considerarse como evaluaciones del rendimiento "contrarreloj". La mayoría de los estudios acerca de los beneficios de las dietas altas en carbohidratos han utilizado pruebas de capacidad de resistencia durante el ciclismo y la carrera. Los investigadores frecuentemente han elegido el ciclismo o la carrera a un paso constante para facilitar la recolección de datos relacionados con estudios de las influencias de las manipulaciones dietéticas en las respuestas metabólicas así como en el inicio de la fatiga. Sin embargo, se ha cuestionado la aplicabilidad de los resultados de estos estudios a los deportes de resistencia porque es raro que se requiera que un atleta haga ejercicio el mayor tiempo posible.

Generalmente no se declara la confiabilidad de la prueba de rendimiento. Aun en laboratorios reconocidos, las pruebas de capacidad de resistencia son menos reproducibles ($\pm 26.6\%$) que las pruebas de rendimiento contrarreloj en bicicleta ($\pm 3.4\%$) (Jeukendrup et al., 1996) o carrera ($\pm 2.7\%$) (Schabert et al., 1997). Pero raramente se proporciona la información de la prueba de reproducibilidad en los estudios de alimentación con carbohidratos antes del ejercicio. La importancia de conocer la reproducibilidad de una prueba determinada se ilustra a continuación: por ejemplo, si una dieta alta en carbohidratos resulta en una mejoría del 5% en el rendimiento en una prueba contrarreloj, pero la variabilidad asociada con la sola repetición de la prueba sin intervención es $\pm 15\%$, entonces la gran variabilidad en los resultados por la repetición de la prueba de ejercicio enmascarará el pequeño impacto de la dieta de carbohidratos de tal forma que no se detectará el efecto de la dieta. Como se describe más adelante, muchos de los estudios acerca de los beneficios de la carga de carbohidratos antes del ejercicio han utilizado pruebas de capacidad de resistencia en lugar de pruebas de rendimiento contrarreloj. Por lo tanto, es aun más impresionante que se haya demostrado que las dietas altas en carbohidratos antes del ejercicio mejoren la capacidad de resistencia a pesar de la gran variabilidad al repetir este tipo de prueba de ejercicio.

Tamaños de muestra pequeños; los sujetos generalmente son hombres. Los estudios de manipulación dietética, especialmente con diseños cruzados en los que se requiere que los sujetos participen en pruebas dietéticas repetidas mientras consumen alimentos bajo supervisión, donde se requiere tomar biopsias musculares y muestras sanguíneas repetidas, son costosos y muy laboriosos. Además, aún cuando haya abundantes recursos, puede ser difícil reclutar sujetos lo suficientemente bien entrenados y con características similares. De acuerdo con esto, la mayoría de los reportes incluyen diez o menos sujetos por grupo y estos tamaños de muestra pequeños hacen más difícil detectar diferencias ocasionadas por los tratamientos dietéticos que son estadísticamente pequeñas, pero potencialmente significativas para el rendimiento. También, hay pocos estudios con sujetos del sexo femenino, tal vez debido a la percepción de los investigadores de que sería difícil reclutar mujeres que estén dispuestas a someterse a los protocolos que se requieren.

Posibles efectos que confunden los resultados de la alimentación con carbohidratos antes y/o durante el ejercicio. En la mayoría de los estudios, los sujetos estuvieron en ayuno cerca de 12 horas antes del

ejercicio, pero en otras investigaciones consumieron una comida rica en carbohidratos unas pocas horas antes y/o consumieron carbohidratos durante el ejercicio. Por otra parte, ayunar por 12 horas antes de una competencia de resistencia y evitar consumir bebidas deportivas que contienen carbohidratos durante el ejercicio es probablemente muy raro; además, es difícil diferenciar los efectos de una dieta alta en carbohidratos de los de una comida con carbohidratos consumida justo antes del ejercicio o de los carbohidratos en una bebida deportiva consumidos durante el ejercicio. Esto hace problemática la interpretación de los resultados del estudio a menos de que varios grupos control estén incluidos en el diseño de investigación. Debido al gasto que esto implica, se han reportado muy pocos estudios con tales características.

Falta de supervisión de las dietas y el ejercicio. Debido a que es costoso y logísticamente difícil realizar estudios en los cuales haya un monitoreo cuidadoso de los alimentos que comen los sujetos y el ejercicio al que ellos puedan dedicarse fuera del laboratorio, en la mayoría de los estudios simplemente se pide a los sujetos que cumplan con varias guías de dieta y ejercicio. Debido a que no se sabe qué tanto los sujetos fallan al cumplir estas guías, tampoco se conoce el efecto de cualquier falta de cumplimiento en los resultados del experimento.

Efectos de la dieta alta en carbohidratos consumida un día antes de una prueba de rendimiento

Efectos sobre la capacidad de resistencia. Ingerir una dieta alta en carbohidratos (~10 g/kg) durante las 24 horas siguientes a un entrenamiento intenso puede aumentar las concentraciones de glucógeno muscular a valores elevados en atletas de resistencia bien entrenados (Ahlborg et al., 1967; Bergström et al., 1972; Bussau et al., 2002; Kochan et al., 1979; MacDougall et al., 1977). Debido a que la mayoría de los atletas entrenan todos los días, es lógico asumir que la recuperación de sus almacenes de carbohidratos al ingerir una dieta alta en carbohidratos les ayudará a poder con las sesiones diarias de entrenamiento. Como un ejemplo para respaldar esta hipótesis, en un estudio de laboratorio se requirió que dos grupos similares de corredores completaran, en las primeras horas de la mañana después de una noche de ayuno, una carrera en banda rodante al 70% del VO_2 máx durante 90 min o hasta la fatiga, lo que ocurriera primero (Fallowfield & Williams, 1997). Un grupo consumió su dieta normal con la adición de carbohidratos (ingesta total de carbohidratos = 9 g/kg de peso corporal) durante el resto del día. El otro grupo consumió su dieta normal mixta (5 g/kg) con proteína adicional para igualar el contenido de energía de la dieta de recuperación alta en carbohidratos. Los corredores en la dieta de recuperación alta en carbohidratos fácilmente reprodujeron su rendimiento del día previo, mientras que aquellos en la dieta mixta no fueron capaces de correr tanto tiempo en el segundo día (Figura 2) (Fallowfield & Williams, 1997).

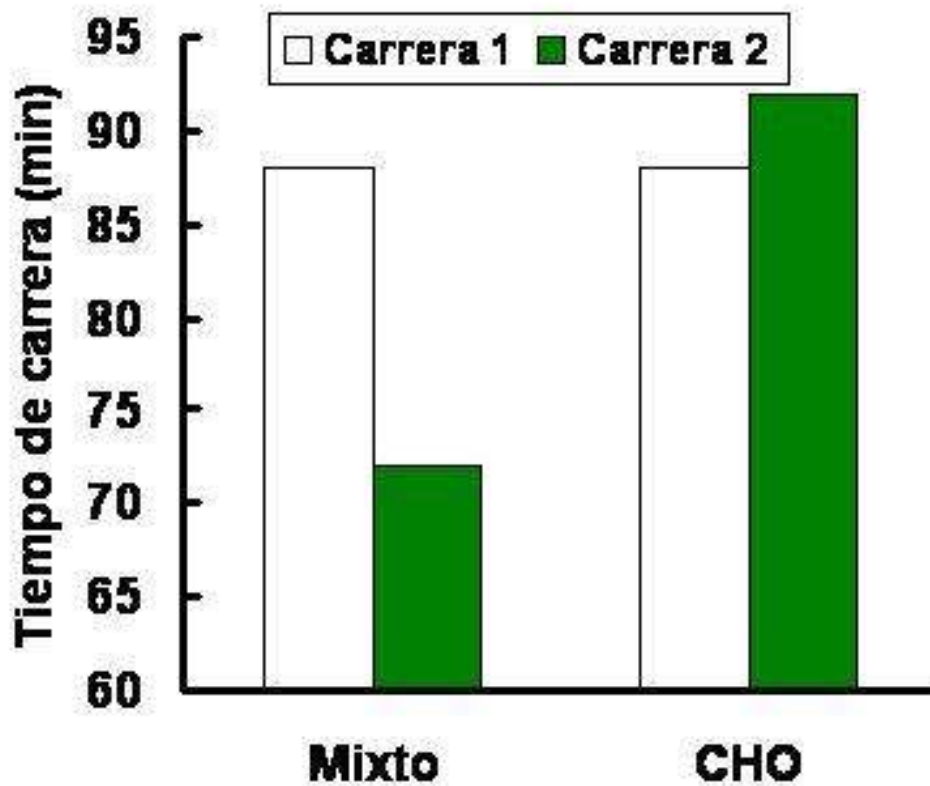


FIGURA 2. Tiempos de carrera en dos pruebas separadas por 22 h. En el primer día, dos grupos de corredores completaron una carrera sobre banda rodante al 70% del $VO_{2\text{máx}}$ hasta el agotamiento o a los 90 min, lo que ocurriera primero. Un grupo consumió una dieta normal mixta (~5 g de carbohidratos/kg de peso) durante el periodo de recuperación de 22 h, mientras que el otro grupo aumentó su ingesta de carbohidratos a 9 g/kg. Se igualó el consumo de energía total. En el segundo día, sólo los corredores que siguieron la dieta de recuperación alta en carbohidratos fueron capaces de igualar su rendimiento en la carrera del día anterior (Fallowfield & Williams, 1997).

De manera similar, incrementar el contenido de carbohidratos en la dieta de recuperación de un grupo de jugadores de equipo les permitió reproducir su sesión de un circuito de carrera con ejercicio intermitente, breve, de alta intensidad, 24 horas más tarde, mientras que cuando consumieron su cantidad normal de carbohidratos más proteína adicional, fueron incapaces de igualar su rendimiento al siguiente día (Nicholas et al., 1997). Aunque no se determinaron las concentraciones de glucógeno muscular, estos estudios sugieren que si los atletas necesitan recuperarse totalmente para entrenar o competir diariamente, entonces debe prescribirse su consumo de carbohidratos porque el consumo *ad libitum* fallará para alcanzar el consumo de carbohidratos recomendado de 10 g/kg de peso corporal (Costill et al., 1981).

Efectos de una dieta alta en carbohidratos consumida 2-3 días antes de una prueba de rendimiento

Efectos en la capacidad de resistencia. Hawley y colaboradores (1997) publicaron previamente una revisión acerca de los efectos de la carga de carbohidratos sobre el rendimiento. En uno de los primeros estudios, Bergström y colaboradores (1967) reportaron que cuando sus sujetos se ejercitaron hasta el agotamiento en un cicloergómetro a una intensidad equivalente al 65-70% del $VO_{2\text{max}}$ después de su dieta normal mixta, llegaron a estar fatigados después de 58 minutos. Después de eso, ellos consumieron una dieta baja en carbohidratos por 3 días y luego hicieron ejercicio en bicicleta hasta el agotamiento otra vez antes de consumir una dieta alta en carbohidratos (90% de la energía) por 3 días más. Al final del periodo en la dieta alta en carbohidratos ellos fueron capaces de andar en bicicleta por 189 min antes del inicio de la fatiga (Figura 3).

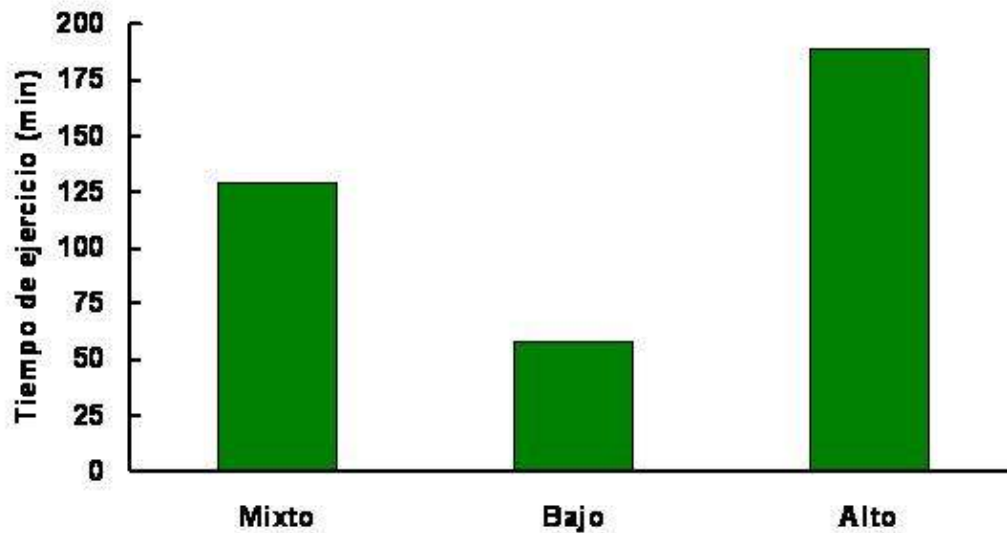


FIGURA 3. Tiempo hasta el agotamiento durante ciclismo prolongado (~70% VO_{2max}) después de una dieta mixta seguida por 3 días con una dieta baja en carbohidratos y 3 días en una dieta alta en carbohidratos (Bergström et al., 1967).

Ahlborg y colaboradores (1967) mostraron resultados similares de cicloergometría, ellos encontraron que después de 3 días de una dieta con 95% de carbohidratos, sus sujetos pudieron andar en bicicleta por ~160 min, comparados con sólo ~110 min con una dieta de 50% de carbohidratos y ~50 min con una dieta de 10% de carbohidratos. Más recientemente, Green y colaboradores (2007) también mostraron un efecto benéfico de la carga de carbohidratos en el tiempo de andar en bicicleta hasta el agotamiento a un 68% del VO_{2max} .

En otro estudio, los corredores que siguieron el protocolo "clásico" de carga de carbohidratos, terminando con 3 días de una dieta con 90% de carbohidratos, fueron capaces de correr por 167 min al 75% del VO_{2max} comparado con 140 min cuando consumieron una dieta con 50% de carbohidratos (Lamb et al., 1991). Estos sujetos consumieron todos los alimentos bajo supervisión en el laboratorio, hicieron la prueba 3-4 horas después de su última comida y sólo consumieron agua durante las pruebas de rendimiento.

¿Hay beneficios adicionales de la suplementación con carbohidratos durante las pruebas de resistencia?

En un estudio diseñado para determinar si el consumo de carbohidratos durante el ejercicio puede proporcionar un beneficio en el rendimiento adicional al efecto de la carga de carbohidratos, Kang y colaboradores (1995) tuvieron a sus ciclistas en dos ocasiones bajo un protocolo de carga de carbohidratos, incluyendo una dieta alta en carbohidratos (7.5 g/kg) durante los últimos 3 días. Después de una noche de ayuno, los sujetos hicieron bicicleta hasta el agotamiento al 70% del VO_{2max} , una vez mientras consumían una bebida deportiva al 6% cada 20 min (~45 g de carbohidratos/h) y luego mientras consumían un placebo. Cuando ingirieron la bebida deportiva durante el ejercicio, los ciclistas anduvieron en bicicleta por 189 min antes de la fatiga, comparado con 155 min durante el tratamiento placebo. Como se discutirá más adelante, este resultado que muestra un beneficio complementario de la carga de carbohidratos y la suplementación con carbohidratos durante el ejercicio no se ha encontrado consistentemente con las pruebas de rendimiento contrarreloj. Sin embargo, debe hacerse notar que Kang y colaboradores (1995) no estudiaron directamente los efectos de la carga de carbohidratos porque sus sujetos estuvieron sometidos a protocolos de carga de carbohidratos idénticos en ambos tratamientos.

Efectos de la carga de carbohidratos sobre el tiempo hasta el agotamiento en ejercicio breve de alta intensidad.

Aunque la carga de carbohidratos frecuentemente está asociada con mejorías en las pruebas de ejercicio con duración mayor a los 90 min, hay alguna evidencia de que puede mejorar el rendimiento durante el ejercicio de corta duración y alta intensidad. Por ejemplo, Maughan y Poole (1981) reportaron una mejoría de 36% en el tiempo hasta el agotamiento en bicicleta a 105% del VO_{2max} (6.65 min contra 4.87 min) cuando sus sujetos completaron el régimen tradicional de carga de carbohidratos. En un estudio similar, Pizza y colaboradores (1995) reportaron que el tiempo hasta el agotamiento en una carrera sobre banda rodante al 100% del VO_{2max} aumentó de 4.7 min a 5.06 min cuando sus sujetos disminuyeron su entrenamiento y aumentaron su consumo de carbohidratos durante los 3 días anteriores a la prueba. No está claro el mecanismo de la mejoría en el rendimiento después de la carga de carbohidratos de estas sesiones breves de ejercicio. Una sugerencia es que esta preparación dietética para el ejercicio de alta intensidad pueda afectar positivamente la capacidad amortiguadora (buffer) del músculo (Maughan & Greenhaff, 1991). Otra posibilidad es que los carbohidratos puedan facilitar que los atletas mantengan un humor más positivo (Achten et al., 2004) y/o pueda tener un efecto de excitación en el cerebro, permitiendo al atleta la activación de unidades motoras adicionales para aumentar el rendimiento (Winnick et al., 2005).

En resumen, casi todos los reportes de los efectos de dietas altas en carbohidratos de 2-3 días sobre la

capacidad de resistencia – la habilidad para continuar desempeñándose a una potencia o un ritmo de ejercicio constante – muestran resultados positivos. Sin embargo, debe notarse que la mayoría de estos reportes requirieron que los sujetos hicieran ejercicio después de una noche de ayuno y utilizando sólo agua – no bebidas con carbohidratos – para la rehidratación durante el ejercicio. Los datos de Kang y colaboradores (1995) indican que el consumo de carbohidratos durante el ejercicio proporciona beneficios en el rendimiento adicionales a aquellos que se deben a una dieta alta en carbohidratos. Pero basándose en los resultados de varios estudios de tiempo contrarreloj que incorporaron alimentación con carbohidratos unas pocas horas antes y/o durante el ejercicio (ver más adelante), parece probable que los beneficios de la carga de carbohidratos en la capacidad de resistencia frecuentemente sería menos obvia si los sujetos consumieran carbohidratos durante las pruebas de rendimiento.

Efectos sobre el rendimiento en pruebas contrarreloj. Varios estudios han examinado la influencia de las dietas altas en carbohidratos consumidas por varios días sobre el rendimiento en condiciones de carrera, y otros han tratado de simular condiciones de carrera en laboratorios para tratar de proporcionar un mejor entendimiento de los mecanismos responsables para las mejorías en el rendimiento.

Hace casi 40 años, Karlsson y Saltin (1971) reportaron uno de los estudios de campo más informativos acerca de la influencia de la manipulación dietética sobre el rendimiento en el ejercicio de resistencia. Diez hombres jóvenes completaron una carrera de 30 km en dos ocasiones. En la primera ocasión, la competencia fue parte de un festival de carrera anual de Estocolmo. Seis de los sujetos consumieron sus dietas mixtas normales durante la semana previa a la carrera, y cuatro realizaron el procedimiento de carga de carbohidratos para aumentar los almacenes de glucógeno antes del ejercicio. Tres semanas después, los dos grupos cambiaron su preparación nutricional y realizaron otra vez la carrera. En un intento de reconstruir las condiciones de competencia de la primera carrera, en esta segunda ocasión se les pagó a los corredores si hacían la carrera más rápido que en la primera ocasión. La carga de carbohidratos mejoró el tiempo en la carrera de 30 km por 8 min (135.3 min vs. 143 min). Se han reportado efectos positivos similares de la carga de carbohidratos sobre el rendimiento en una carrera contrarreloj de 30 km en banda rodante para hombres, pero este beneficio no fue aparente en mujeres corredoras (Williams et al., 1992)

En hombres, también puede mejorar el rendimiento en ciclismo de larga distancia al incrementar los carbohidratos en la dieta. Por ejemplo, Widrick y colaboradores (1993) reportaron que ocho ciclistas entrenados en resistencia completaron una prueba contrarreloj de 65 km en el laboratorio en 118.7 min después de haber consumido una dieta moderada en carbohidratos (6.5 g/kg) por 2 días, mientras que su tiempo promedio fue 122.9 min cuando ellos consumieron una dieta baja en carbohidratos (2.3 g/kg) por 2 días. En este experimento, las comidas antes del ejercicio se completaron al menos 6 h antes de todos los tratamientos. En las dos pruebas citadas anteriormente, los sujetos bebieron un placebo con sabor durante las pruebas de rendimiento. También se completaron dos pruebas adicionales – una con la dieta anterior moderada en carbohidratos y otra con la dieta baja en carbohidratos – durante las cuales los sujetos ingirieron a intervalos durante el ejercicio una bebida con carbohidratos que aportara ~1.5 g de carbohidratos/kg de peso corporal durante cada una de las dos pruebas. La suplementación con carbohidratos durante el ejercicio dio una mejoría no significativa en el tiempo de 1.2 min a la dieta moderada en carbohidratos de 2 días. De igual manera, no hubo diferencias significativas entre tiempos para el tratamiento que incluyó la dieta baja en carbohidratos más la suplementación (121.2 min) y el tratamiento con la dieta moderada en carbohidratos pero sin suplementación (118.7 min). Tal vez con más sujetos algunas de estas diferencias hubieran sido significativas, pero los resultados sugieren que la dieta moderada en carbohidratos preliminar y el consumo de carbohidratos durante el ejercicio proporcionan efectos positivos similares – pero no aditivos – sobre el rendimiento.

En un estudio reportado por Flynn y colaboradores (1987), en cuatro ocasiones separadas un grupo de ciclistas fue sometido a una carga de carbohidratos por 2 días y después realizaron tanto trabajo como fuera posible en un cicloergómetro durante un periodo de 2 h. Durante las pruebas, los sujetos consumieron una de cuatro bebidas: un placebo endulzado o una de tres bebidas que contenían varios tipos y concentraciones de carbohidratos. No hubo diferencias detectadas en la cantidad de trabajo realizado durante los cuatro tratamientos. Así, en contraste con los resultados de Kang y colaboradores (1995), quienes probaron la capacidad de resistencia, en este experimento, tomar una bebida con carbohidratos durante una prueba de rendimiento en el ejercicio no dio beneficios observables más allá de los proporcionados por la carga de carbohidratos.

Se reportaron beneficios de la carga de carbohidratos sobre el rendimiento en una prueba de ciclismo de 1 h (distancia máxima recorrida en 1 h) que siguió a una carrera de 2 h a ~70% VO_{2max} con sprints intermitentes (Rauch et al., 1995). El aumento del consumo diario de carbohidratos de 6.2 g/kg a 10.5 g/kg durante los 3 días anteriores a la prueba contrarreloj incrementó las concentraciones de glucógeno muscular en un 47% y mejoró la distancia cubierta en 1 h (38.02 km) al comparar con el rendimiento sin la carga de carbohidratos previa (36.74 km). En este experimento, los sujetos consumieron un desayuno estandarizado (70-80 g de carbohidratos) 3 h antes de las pruebas de ejercicio e ingirieron una bebida de 8% de carbohidratos a una tasa de 750 mL/h (un total de 120 g de carbohidratos) durante las primeras 2 h de carrera. Sólo bebieron agua durante la última hora de la carrera. Así, en este estudio, se detectó el beneficio de la carga de carbohidratos sobre el rendimiento aún cuando los sujetos ingirieron una comida antes del ejercicio y una bebida de carbohidratos durante las primeras 2 h de ejercicio.

En contraste con los resultados de Rauch y colaboradores (1995), Burke y colaboradores (2000) no detectaron beneficios de la carga de carbohidratos cuando sus sujetos consumieron una comida antes del ejercicio y suplementos de carbohidratos durante el ejercicio. En su estudio, siete ciclistas de carretera completaron dos tratamientos durante los cuales realizaron ya sea una carga de carbohidratos (9g/kg de peso corporal) o una dieta control moderada en carbohidratos (6 g/kg de masa corporal) durante 3 días antes de una prueba contrarreloj de 100 km utilizando sus propias bicicletas. Consumieron un desayuno alto en carbohidratos 2 h antes de cada prueba contrarreloj, durante las cuales los ciclistas ingirieron una solución de polímero de glucosa al 7% a una

tasa de 15 mL/kg de peso corporal/h. Bajo ambas condiciones de dieta, los ciclistas completaron los 100 km en ~148 min. Parece ser que un consumo moderado de carbohidratos (6 g/kg de peso corporal) en los días previos a la prueba de rendimiento, junto con un desayuno alto en carbohidratos y una bebida con carbohidratos durante la carrera fue suficiente para cubrir los requerimientos de carbohidratos en esta situación experimental.

En contraste con el estudio de Rauch y colaboradores (1995) y Burke y colaboradores (2000), la mayoría de los estudios de los efectos de la carga de carbohidratos sobre el rendimiento en pruebas contrarreloj no incluyen alimentación con carbohidratos 3-4 h antes o durante el ejercicio porque la principal meta de la investigación fue evaluar los efectos independientes de la carga de carbohidratos. Los beneficios de la carga de carbohidratos en el rendimiento en pruebas contrarreloj no siempre se detectan cuando los sujetos también consumen una comida alta en carbohidratos antes del ejercicio e ingieren carbohidratos durante la carrera (Andrews, et al., 2003; Burke et al., 2000). Muy probablemente, los beneficios de los carbohidratos consumidos unas pocas horas antes y/o durante el ejercicio de resistencia sobre el rendimiento algunas veces pueden enmascarar cualquier efecto positivo de la carga de carbohidratos. Sin embargo, debe hacerse énfasis en que muchos de estos estudios han utilizado grupos pequeños de sujetos que podrían haber hecho difícil detectar cualquier efecto benéfico pequeño de la carga de carbohidratos, adicional a los efectos de los otros carbohidratos ingeridos. En resumen, continúa siendo incierto si los efectos ergogénicos de la carga de carbohidratos sobre el rendimiento serán evidentes o no, si un atleta consume una comida con carbohidratos antes del ejercicio e ingiere una bebida deportiva durante el ejercicio.

La carga de carbohidratos generalmente es menos efectiva en pruebas contrarreloj de corta duración. En contraste con las conclusiones comunes de los beneficios de la carga de carbohidratos sobre el rendimiento durante carreras de larga distancia, parece haber menos soporte para esta práctica nutricional antes de carreras de distancias más cortas. Por ejemplo, cuando corredores bien entrenados hicieron una carga de carbohidratos antes de una carrera de 20.9 km en pista cubierta, no hubo mejoría en el tiempo final (aproximadamente 83 min) al comparar con el tiempo que lograron sin aumentar sus almacenes de glucógeno antes de la carrera (Sherman et al., 1981).

Pitsiladis y colaboradores (1996) encontraron que la carga de carbohidratos no mejoró el tiempo para completar una prueba contrarreloj de 10 km en banda rodante (48.8 min) cuando se comparó con una dieta previa a la carrera que fue baja en carbohidratos (48.6 min). De manera similar, Hawley y colaboradores (1997) aumentaron las concentraciones de glucógeno muscular antes del ejercicio en seis ciclistas bien entrenados en un 23%, pero no hubo diferencias en las distancias cubiertas durante las pruebas contrarreloj en bicicleta (40.4 km con la carga de carbohidratos comparado con 40.2 km en la condición en que no se hizo carga). Así, parece que cuando la duración del ejercicio es menor a alrededor de 90 min, es improbable que la carga de carbohidratos mejore el rendimiento.

Carga de carbohidratos y ejercicio intermitente. En muchos deportes tales como el fútbol, básquetbol y fútbol americano, lo más importante es la habilidad de realizar sprints breves repetidamente. Aunque un sprint breve produce una demanda pequeña sobre los almacenes de glucógeno muscular, la repetición de estos sprints muchas veces reducirá sus concentraciones y llevará a una disminución en el rendimiento. En un partido de fútbol, por ejemplo, aquellos jugadores que inician con concentraciones de glucógeno muscular bajas corren menos durante la competencia que aquellos que inician el partido con concentraciones relativamente altas de glucógeno (Krustrup et al., 2006; Saltin, 1973).

Una conclusión similar proviene de un estudio con jugadores de hockey sobre hielo que aumentaron sus almacenes de glucógeno muscular en un 12% después de una carga de carbohidratos antes de la competencia. El grupo que inició el juego con almacenes de glucógeno más altos cubrió mayores distancias a velocidades más altas que lo que hizo el grupo control. La mejoría en el rendimiento se atribuyó a las diferencias en los almacenes de glucógeno antes de la competencia (Akermark et al., 1996).

Hay varios estudios de laboratorio que han confirmado el valor de la carga de carbohidratos antes de periodos prolongados intermitentes, de ejercicio breve de alta intensidad, que son comunes en los deportes de sprints múltiples. Bangsbo y colaboradores (1992) reportaron que cuando jugadores de fútbol realizaron 46 min de movimientos relacionados con el fútbol al aire libre, incluyendo caminata y carrera, seguidos por una prueba sobre banda rodante en el laboratorio que incluía carreras alternadas hasta el agotamiento (15 s a alta velocidad y 10 s a baja velocidad), corrieron mayor distancia después de la carga de carbohidratos (17.1 km vs. 16.2 km). De manera similar, en un estudio de laboratorio en bicicleta para examinar la habilidad para mantener la producción de potencia durante 15 sprints máximos de 6 s de duración y 30 s de recuperación, Balsom y colaboradores (1999) mostraron que la producción de potencia disminuyó menos durante la prueba posterior a la carga de carbohidratos que cuando sus sujetos iniciaban la prueba de múltiples sprints con concentraciones de glucógeno muscular más bajas. Una prueba adicional en el mismo estudio requirió que los sujetos intentaran mantener un valor submáximo de producción de potencia en cada sprint de 6 s por tantos sprints como fuera posible. El número de sprints completados con la producción de potencia objetivo fue de 294 después de la carga de carbohidratos y sólo 111 cuando los sujetos iniciaron el ejercicio con concentraciones bajas de glucógeno muscular.

En resumen, la evidencia disponible muestra que la carga de carbohidratos 2-3 días antes del ejercicio intenso continuo y prolongado (>90 min) o el ejercicio intermitente de alta intensidad frecuentemente es benéfico para los atletas varones. Sin embargo, este efecto puede disminuir o enmascararse si los atletas consumen una comida con carbohidratos antes del ejercicio o ingieren carbohidratos durante el ejercicio. Además, como se discutirá más adelante, puede ser menos probable que las mujeres alcancen beneficios sobre el rendimiento por la carga de carbohidratos que los hombres.

¿Funcionan las dietas altas en carbohidratos en las mujeres? La mayoría de los estudios acerca de la

recuperación de las concentraciones de glucógeno después del ejercicio han utilizado sujetos varones. Algunos estudios en mujeres sugirieron que fueron incapaces de alcanzar la "supercompensación de glucógeno" (Tarnopolsky et al., 1990) o al menos no en el mismo grado que los hombres (Walker et al., 2000). Sin embargo, en estudios más recientes, cuando el consumo de carbohidratos de hombres y mujeres fue cuidadosamente equiparado, llegó a ser claro que las mujeres también pueden aumentar sus almacenes de glucógeno a valores por encima de lo normal (James et al., 2001). Sin embargo, aunque el aumento en el glucógeno puede aumentar la capacidad de resistencia en el ejercicio en bicicleta en las mujeres (Walker et al., 2000), no hay evidencia contundente de que mejora el rendimiento en las pruebas contrarreloj en bicicleta (McLay et al., 2007; Paul et al., 2001) o en banda rodante (Andrews et al., 2003; Williams et al., 1992). Hubo experimentos con un pequeño número de mujeres, de tal manera que algunos beneficios verdaderos pero pequeños de la carga de carbohidratos, pueden haber sido imposibles de detectar. Aún así, el peso de la evidencia sugiere que no es probable que la carga de carbohidratos mejore el rendimiento deportivo en mujeres. No está claro el mecanismo causal de este aparente efecto de género.

Dietas altas en carbohidratos consumidas diariamente durante el entrenamiento

Efectos sobre la capacidad de resistencia. Debido a que es difícil y costoso realizar tales estudios, hay escasa investigación acerca de la eficacia de las dietas altas en carbohidratos utilizadas diariamente durante un tiempo prolongado. Sherman y colaboradores (1993) alimentaron a corredores y ciclistas por 7 días en un estudio de diseño cruzado. Los sujetos consumieron 5 g ó 10 g de carbohidratos por kilogramo de peso corporal diariamente. El entrenamiento diario de 1 hora y 10 minutos fue realizado bajo supervisión en el laboratorio sobre una banda rodante o un cicloergómetro, y el consumo de alimentos también fue supervisado en el laboratorio. (Los sujetos consumieron un almuerzo 3 h antes de cada sesión de entrenamiento y bebieron sólo agua durante el ejercicio). Después de la sesión habitual de entrenamiento en el séptimo día, los sujetos corrieron o anduvieron en bicicleta hasta el agotamiento en dos ocasiones al 80% del $\text{VO}_2\text{máx}$, con 5 min de descanso separando cada prueba de rendimiento. Como se esperaba, la dieta moderada en carbohidratos produjo una disminución gradual en los almacenes de glucógeno muscular durante el transcurso del entrenamiento, mientras que los almacenes de glucógeno se mantuvieron en la dieta alta en carbohidratos. Sin embargo, estas diferencias en el almacenaje de glucógeno no afectaron el tiempo hasta el agotamiento (cerca de 10 min). Podría especularse que la comida 3 h antes del ejercicio enmascaró algún efecto de la dieta diaria sobre el rendimiento o que el glucógeno extra aportado por la dieta alta en carbohidratos fue innecesario para realizar la prueba de rendimiento breve y de alta intensidad, aunque esta tarea se realizó después de una hora de entrenamiento que debió haber alterado los almacenes de glucógeno.

Efectos sobre las pruebas de rendimiento contrarreloj. Simonsen y colaboradores (1991) alimentaron a un grupo de 11 remeros universitarios hombres y mujeres con una dieta supervisada alta en carbohidratos (10 g/kg) y a otro grupo de 11 remeros con una dieta moderada en carbohidratos (5 g/kg) diariamente por 4 semanas. Los remeros entrenaron dos veces al día en ergómetros de remo y cicloergómetros y completaron tres pruebas contrarreloj de 2500 m en ergómetros de remo tres veces a la semana durante las sesiones de entrenamiento de la tarde, ~ 3 h después del almuerzo. Sólo se dio agua durante el ejercicio. Los remeros que consumieron la dieta alta en carbohidratos aumentaron sus almacenes de glucógeno muscular sobre los niveles basales, y sus rendimientos promedio en las pruebas contrarreloj fueron mejores que para el grupo moderado en carbohidratos durante los 28 días de entrenamiento. Pero, tal vez debido al número relativamente pequeño de sujetos, fue sólo hasta después de 28 días de entrenamiento que la diferencia en el rendimiento entre los dos tratamientos de dieta alcanzaron significancia estadística.

En un estudio acerca de cómo los carbohidratos de la dieta afectan el rendimiento en la carrera durante un periodo de entrenamiento intenso para corredores de elite, Achten y colaboradores (2004) proporcionaron todos los alimentos durante los 11 días de entrenamiento. Durante los últimos 7 días, se intensificó el entrenamiento. Los corredores consumieron 8.5 ó 5.4 g de carbohidratos/kg por día durante los 11 días. Las pruebas de rendimiento durante el entrenamiento fueron pruebas contrarreloj de 8 km en la banda rodante y pruebas contrarreloj de 16 km realizadas en una pista al aire libre. Las pruebas se realizaron después de una noche de ayuno y sólo se dió agua durante el ejercicio. El rendimiento en ambas pruebas se mantuvo significativamente mejor durante el entrenamiento intenso con la dieta alta en carbohidratos.

Utilizando un diseño cruzado, Macdermid y Standard (2006) alimentaron ciclistas durante 7 días ya sea con una dieta alta en carbohidratos (7.9 g de carbohidratos/kg, 1.3 g proteína/kg, 1.3 g grasa/kg) o una dieta alta en proteínas (5.9 g de carbohidratos/kg, 3.3 g proteína/kg, 1.3 g grasa/kg). (Note que la diferencia en el consumo de carbohidratos fue modesta – cerca de 137 g/día). Se les pidió a los sujetos que mantuvieran sus cargas de entrenamiento normales. El consumo de alimentos no se supervisó directamente. La prueba de rendimiento requirió que los sujetos completaran una carga de trabajo asignada en un cicloergómetro tan rápido como fuera posible. La prueba de rendimiento se realizó después de una noche de ayuno, y sólo se consumió agua inmediatamente antes y durante la prueba. A pesar de las pequeñas diferencias en el consumo diario de carbohidratos, cuando se consumía la dieta "alta en carbohidratos", los sujetos completaron la prueba contrarreloj más rápido (126.9 min) que cuando consumieron la dieta "alta en proteínas" (153.0 min). Por supuesto, no puede determinarse si la diferencia en el rendimiento entre las dos dietas fue ocasionada por los efectos positivos del consumo de una dieta alta en carbohidratos o por los efectos negativos de una ingesta alta en proteínas.

Lamb y colaboradores (1990) requirieron que nadadores universitarios consumieran una dieta alta en carbohidratos (11.4 g/kg) bajo supervisión durante un periodo de 9 días y después una dieta moderada en carbohidratos (6.1 g/kg) por otro periodo de 9 días. Las comidas se proporcionaron en el laboratorio. Los entrenadores animaron a sus nadadores a dar esfuerzos máximos durante todos los nados de intervalos y nados

continuos durante las dos sesiones de entrenamiento al día. Las sesiones de la mañana se realizaron después de una noche de ayuno, mientras que ~ 3 horas antes de las sesiones de la tarde se consumió un almuerzo. No se dieron líquidos durante el ejercicio. Se registraron todos los tiempos de nado durante los últimos 5 días de cada periodo de tratamiento. No se detectaron efectos de la dieta sobre el rendimiento en el nado, sugiriendo que la dieta moderada en carbohidratos aportó suficiente energía de carbohidratos para el entrenamiento.

Para resumir, son inconsistentes los resultados de las investigaciones acerca de la eficacia de las dietas diarias altas en carbohidratos durante el entrenamiento para mejorar el rendimiento. Hasta el momento no se justifican recomendaciones firmes. Sin embargo, ciertamente no hay evidencia de que el rendimiento se verá afectado en los atletas que consumen dietas altas en carbohidratos. Se necesita más investigación para determinar si hay ciertas situaciones en las cuales las dietas diarias altas en carbohidratos proporcionen una clara ventaja para el entrenamiento y la competencia.

RESUMEN

Los carbohidratos son la principal fuente de energía en el ejercicio de alta intensidad. La fatiga después del ejercicio intenso y prolongado está fuertemente asociada con una reducción severa o con el agotamiento de los almacenes de glucógeno muscular. El consumo de una dieta alta en carbohidratos (8-10 g/kg de peso) durante 1-3 días antes del ejercicio aumenta los almacenes de glucógeno en el músculo y el hígado y, al menos en los hombres, casi siempre mejora el rendimiento en las pruebas de "tiempo hasta el agotamiento" con duración de 90 min o más, especialmente cuando tales pruebas se hacen después de una noche de ayuno y no incluyen alimentación con carbohidratos durante el ejercicio. Se han reportado beneficios positivos similares en hombres en algunos estudios de ejercicio intermitente de alta intensidad, tales como sprints repetidos que pueden realizarse en un partido de fútbol. También hay pocos reportes de beneficios sobre el rendimiento al consumir dietas altas en carbohidratos antes de ejercicio máximo con duración alrededor de 5 min, pero no está claro el mecanismo causal de tales beneficios.

Se han reportado beneficios menos consistentes del consumo de dietas altas en carbohidratos durante 1-3 días sobre pruebas de rendimiento contrarreloj, y frecuentemente los beneficios no son evidentes en estudios en los que las dietas altas en carbohidratos estuvieron combinadas con comidas antes del ejercicio y/o alimentación con carbohidratos durante el ejercicio. En los pocos estudios contrarreloj reportados en mujeres, la carga de carbohidratos no mejoró el rendimiento en el ciclismo o la carrera.

Los resultados de los pocos estudios en los que se dieron diariamente dietas altas o moderadas en carbohidratos durante entrenamientos con duración de 7-28 días son especialmente variados y no aportan un mensaje claro acerca del valor potencial de tales dietas para los atletas que llevan a cabo entrenamiento intenso. Hay muchos reportes que demuestran un beneficio para el rendimiento en el ejercicio de resistencia como resultado del consumo de una dieta alta en carbohidratos en los días previos al ejercicio y ninguno indica que las dietas altas en carbohidratos afectarán al rendimiento. Por lo tanto, debe aconsejarse a los atletas que consuman diariamente durante el entrenamiento dietas que contengan al menos 5-6 g de carbohidratos por kilogramo de peso corporal y aumentar esta cantidad a 8-10 g/kg en los días de recuperación, especialmente después de ejercicio intenso, o en los días previos a una competencia de resistencia importante. Los alimentos con carbohidratos deben consumirse en las comidas o meriendas durante el día. Las pruebas de ensayo y error ayudarán a los atletas a determinar qué fuentes de carbohidratos es menos probable que les ocasionen malestar gastrointestinal. Las bebidas altas en carbohidratos y densas en energía deben considerarse como suplementos dietéticos para ayudar a reducir la sensación de llenura que puede acompañar al consumo de grandes cantidades de pasta, arroz, pan y otros alimentos comunes ricos en carbohidratos.

REFERENCIAS

- Achten, J., S. Halson, L. Moseley, M. Rayson, A. Casey, and A. Jeukendrup. (2004). Higher dietary carbohydrate content during intensified running training results in better maintenance of performance and mood state. *J. Appl. Physiol.* 96:1331-1340.
- Ahlborg, B., J. Bergström, J. Brohult, L-G., Ekelund, E. Hultman, and G. Maschio (1967). Human muscle glycogen content and capacity for prolonged exercise after different diets. *Forsvarsmedicin*, 3:85-99.
- Akermark, C., I. Jacobs, M. Rasmusson, and J. Karlsson (1996). Diet and muscle glycogen concentration in relation to physical performance in Swedish elite ice hockey players. *Int. J. Sport Nutr.*, 6:272-284.
- Andrews, J.L., D.A. Sedlock, M.G. Flynn, J.W. Navalta, and H. Ji** (2003). Carbohydrate loading and supplementation in endurance-trained women runners. *J. Appl. Physiol.* 95(2):584-590.
- Balsom, P., G. Gaitanos, K. Soderlund, and B. Ekblom (1999). High intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiol. Scand.* 165:337-345.
- Bangsbo, J., L. Norregaard, and F. Thorsoe (1992). The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. *Int. J. Sports Med.* 13:152-157.
- Bergström, J., L. Hermansen, E. Hultman, and B. Saltin (1967). Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol. Scand.* 71:140-150.
- Bergström, J., and E. Hultman (1966). Muscle glycogen synthesis after exercise: An enhancing factor localized to the muscle cell in man. *Nature* 20:309-310.

- Bergström, J., E. Hultman, and A.E. Roch-Norlund (1972). Muscle glycogen synthase in normal subjects: basal values, effect of glycogen depletion by exercise and of a carbohydrate-rich diet following exercise. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 29:231-236.
- Burke, L., J. Hawley, E. Schabert, A. Gibson, I. Mujika, and T. Noakes, T. (2000). Carbohydrate loading failed to improve 100-km cycling performance in a placebo-controlled trial. *J. Appl. Physiol.* 88:1284-1290.
- Bussau, V., T. Fairchild, A. Rao, P. Steele, and P. Fournier (2002). Carbohydrate loading in human muscle: An improved 1 day protocol. *Eur. J. Appl. Physiol.* 87:290-295.
- Choi, D., K. Cole, B. Goodpaster, W. Fink, and D. Costill (1994). Effect of passive and active recovery on the resynthesis of muscle glycogen. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26:992-996.
- Costill, D.L., W.M. Sherman, W.J. Fink, C. Maresh, M. Witten, and J.M. Miller (1981). The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *Am. J. Clin. Nutr.* 34:1831-1836.
- Fallowfield, J., and C. Williams (1997). The influence of a high carbohydrate intake during recovery from prolonged constant pace running. *Int. J. Sport Nutr.* 7:10-25.
- Flynn, M.G.**, D.L. **Costill**, J.A. **Hawley**, W.J. **Fink**, P.D. **Neufer**, R.A. **Fielding**, and M.D. **Sleeper** (1987). Influence of selected carbohydrate drinks on cycling performance and glycogen use. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19(1):37-40.
- Goforth, H. J., D. Arnall, B. Bennett, and P. Law (1997). Persistence of supercompensated muscle glycogen in trained subjects after carbohydrate loading. *J. Appl. Physiol.* 82:342-347.
- Goforth, H. J., D. Laurent, W. Prusaczyk, K. Schneider, K. Falk, and G. Shulman (2003). Effects of depletion exercise and light training on muscle glycogen supercompensation in men. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 285:E1304-E1311.
- Green, H.J.**, M. **Ball-Burnett**, S. **Jones**, and B. **Farrance** (2007). Mechanical and metabolic responses with exercise and dietary carbohydrate manipulation. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39(1):139-48.
- Hawley, J., G. Palmer, and T. Noakes. (1997). Glycogen content and utilization during 1-h cycling performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75:407-412.
- Hawley, J.A.**, E.J. **Schabert**, T.D. **Noakes**, and S.C. **Dennis** (1997). Carbohydrate-loading and exercise performance. An update. *Sports Med.* 24(2):73-81.
- James, A., L. Cullen, C. Goodman, B. Dawson, T., Palmer, and P. Fournier (2001). Muscle glycogen supercompensation: Absence of a gender-related difference. *Eur. J. Appl. Physiol.* 85:533-538.
- Jeukendrup, A. (2007). Carbohydrate supplementation during exercise: Does it help? How much is too much? *GSSI Sports Sci. Exchange* No 106, 20(3):1-6.
- Jeukendrup, A., W.H. Saris, F. Brouns, and S.D. Kester (1996). A new validated endurance performance test. *Med. Sci. Sports Exerc.* 28(2):266-270.
- Kang J., R.J. **Robertson**, B.G. **Denys**, S.G. **DaSilva**, P. **Visich**, R.R. **Suminski**, A.C. **Utter**, F.L. **Goss**, and K.F. **Metz** (1995). Effect of carbohydrate ingestion subsequent to carbohydrate supercompensation on endurance performance. *Int. J. Sport Nutr.* 5(4):329-343.
- Karlsson, J., and B. Saltin (1971). Diet, muscle glycogen, and endurance performance. *J. Appl. Physiol.* 31(2):203-206.
- Kochan, R.G., D.R. Lamb, S.A. Lutz, C.V. Perrill, E.M. Reimann, and K.K. Schlender (1979). Glycogen synthase activation in human skeletal muscle: effects of diet and exercise. *Am. J. Physiol.* 236:E660-E666.
- Krustrup, P., M. Mohr, A. Steensberg, J. Bencke, M. Kjaer, and J. Bangsbo (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38:1165-1174.
- Lamb, D.R.**, K.F. **Rinehardt**, R.L. **Bartels**, W.M. **Sherman**, and J.T. **Snook** (1990). Dietary carbohydrate and intensity of interval swim training. *Am. J. Clin. Nutr.* 52(6):1058-1063.
- Lamb, D.R., A.C. Snyder, and T.S. Baur (1991). Muscle glycogen loading with a liquid carbohydrate supplement. *Int. J. Sport Nutr.* 1:52-60.
- Macdermid, P.W. and S.R. Stannard (2006). A whey-supplemented, high-protein diet versus a high-carbohydrate diet: effects on endurance cycling performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 16(1):65-77.
- MacDougall, J.D., G.R. Ward, D.G. Sale, and J.R. Sutton (1977). Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *J. Appl. Physiol.* 42:129-132.
- Maughan, R. J., and P.L. Greenhaff (1991). High intensity exercise performance and acid-base balance: The influence of diet and induced metabolic alkalosis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:147-165.
- Maughan, R. J., and D.C. Poole (1981). The effects of a glycogen-loading regimen on the capacity to perform anaerobic exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 46:211-219.
- McLay, R.T.**, C.D. **Thomson**, S.M. **Williams**, and N.J. **Rehrer** (2007). Carbohydrate loading and female endurance athletes: effect of menstrual-cycle phase. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 17(2):189-205.

- Nicholas, C., P. Green, R. Hawkins, and C. Williams (1997). Carbohydrate intake and recovery of intermittent running capacity. *Int. J. Sport Nutr.* 7:251-260.
- Paul, D.R.**, S.M. **Mulroy**, J.A. **Horner**, K.A. **Jacobs**, and D.R. **Lamb** (2001). Carbohydrate-loading during the follicular phase of the menstrual cycle: effects on muscle glycogen and exercise performance. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* 11(4):430-441.
- Pitsiladis, Y., C. Duignan, and R. Maughan (1996). Effect of alterations in dietary carbohydrate intake on running performance during a 10 km treadmill time trial. *Brit. J. Sports Med.* 30:226-231.
- Pizza, F.X.**, M.G. **Flynn**, B.D. **Duscha**, J. **Holden**, and E.R. **Kubitz** (1995). A carbohydrate loading regimen improves high intensity, short duration exercise performance. *Int. J. Sport Nutr.* 5(2):110-116.
- Rauch, L., A. Gibson, E. Lambert, and T. Noakes (2005). A signaling role for muscle glycogen in regulation of pace during prolonged exercise. *Brit. J. Sports Med.* 39:34-38.
- Rauch, L., I. Roger, G. Wilson, J. Belonje, S. Dennis, T. Noakes, and J.A. Hawley (1995). The effects of carbohydrate loading on muscle glycogen content and cycling performance. *Int. J. Sport Nutr.* 5:25-36.
- Saltin, B. (1973). Metabolic fundamentals of exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 15:366-369.
- Schabert, E., W. Hopkins, and J. Hawley (1997). Reproducibility of self-paced treadmill performance of trained endurance runners. *Int. J. Sports Med.* 19:48-51.
- Sherman, W., D. Costill, W. Fink, and J. Miller (1981). Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Int. J. Sports Med.* 2:114-118.
- Sherman, W.M., J.A. Doyle, D.R. Lamb, and R.H. Strauss (1993). Dietary carbohydrate, muscle glycogen, and exercise performance during 7 d of training. *Am. J. Clin. Nutr.* 57:27-31.
- Simonsen, J.C.**, W.M. **Sherman**, D.R. **Lamb**, A.R. **Dernbach**, J.A. **Doyle**, and R. **Strauss** (1991). Dietary carbohydrate, muscle glycogen, and power output during rowing training. *J. Appl. Physiol.* 70(4):1500-1505.
- Tarnopolsky, L. J., J.D. MacDougall, S.A. Atkinson, M.A. Tarnopolsky, and J.R. Sutton (1990). Gender differences in substrate for endurance exercise. *J. Appl. Physiol.* 68:302-307.
- Walker, L., G. Heigenhauser E. Hultman and L. Spriet (2000). Dietary carbohydrate, muscle glycogen content, and endurance performance in well trained women. *J. Appl. Physiol.* 88:2151-2158.
- Widrick, J. J., D.L. Costill, W.J. Fink, M.S. Hickey, G.K. McConnell, and H. Tanaka (1993). Carbohydrate feedings and exercise performance: Effect of initial muscle glycogen concentration. *J. Appl. Physiol.* 74:2998-3005.
- Williams, C., J. Brewer, and M. Walker (1992). The effect of a high carbohydrate diet on running performance during a 30 km treadmill time trial. *Eur. J. Appl. Physiol.* 65:18-24.
- Winnick, J.J.**, J.M. **Davis**, R.S. **Welsh**, M.D. **Carmichael**, E.A. **Murphy**, and J.A. **Blackmon** (2005). Carbohydrate feedings during team sport exercise preserve physical and CNS function. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37(2):306-315.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Williams, C., and Lamb, D. (2008). Do high- carbohydrate diets improve exercise performance? *Sports Science Exchange* 107, 21 (1), por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.

En la mayoría de los eventos deportivos, el glucógeno muscular (la forma en que se almacenan los carbohidratos en los músculos) es el combustible más importante utilizado para producir la energía para el movimiento. Conforme aumenta la duración del ejercicio, es progresivamente más probable que los almacenes de glucógeno muscular se reduzcan al punto que los músculos no puedan mantener el ritmo de demanda de energía. Esto ocurre durante el ejercicio continuo y prolongado como la carrera de distancia o el ciclismo de ruta así como durante periodos prolongados de ejercicio intermitente, breve, de alta intensidad que es común en deportes tales como fútbol, básquetbol, fútbol americano y tenis. Si el glucógeno utilizado en la sesión de entrenamiento o en una competencia no se recupera totalmente antes de la siguiente sesión de entrenamiento o la próxima

competencia, el rendimiento en el ejercicio probablemente se verá afectado. Hace cerca de 70 años, científicos suecos mostraron que consumir una dieta alta en carbohidratos por varios días antes del ejercicio mejoraba la capacidad de resistencia al comparar con lo que se alcanzaba después del consumo de una dieta normal mixta. Las implicaciones prácticas de tales descubrimientos aún son relevantes en la actualidad.

Carga de carbohidratos

En 1981 se demostró un método apropiado para aumentar los almacenes de glucógeno muscular antes de una competencia. Este procedimiento se ilustra en la Figura S1 y requiere que los atletas reduzcan gradualmente su entrenamiento durante la semana previa a la competencia (este periodo se conoce como "Taper"). Durante los últimos 3 días antes de la competencia, los atletas deben aumentar el contenido de carbohidratos de sus dietas a un equivalente de 8-10 g de carbohidratos/kg de peso corporal.

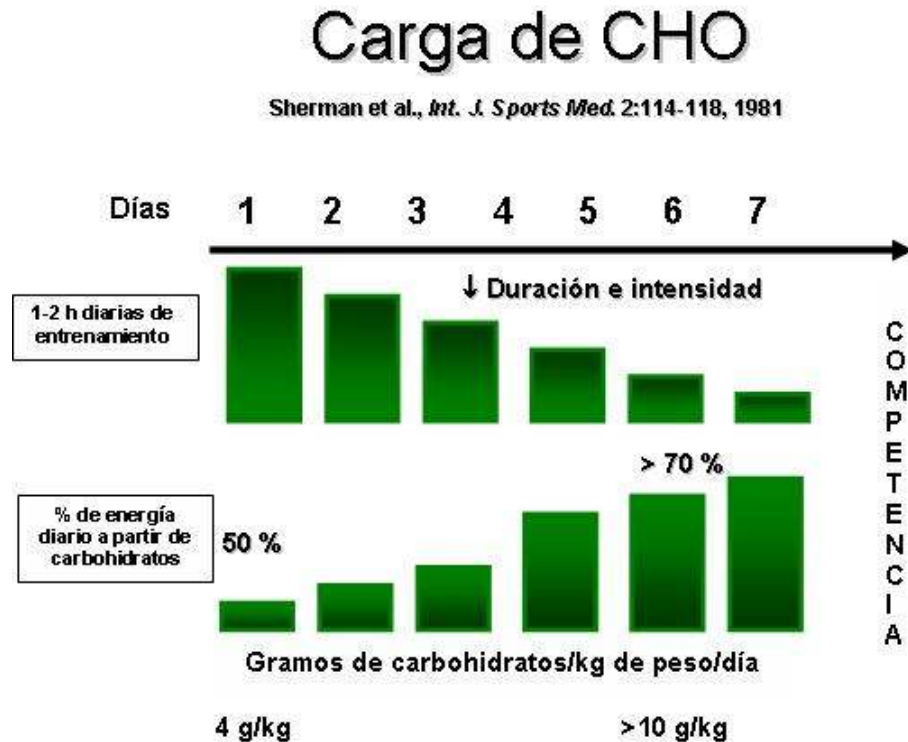


FIGURA S1. Protocolo de carga de carbohidratos modificado que involucra la reducción en la duración e intensidad del entrenamiento y el aumento del contenido diario de carbohidratos de la dieta durante los 3 días previos a una competencia. (Sherman et al., 1981).

Este procedimiento puede ser muy largo para atletas que necesitan recuperar sus almacenes de glucógeno en pocos días después de una sesión de entrenamiento intenso o competencia. Algunas modificaciones del "Taper" incluyen simplemente dejar de entrenar 3 días antes de la competencia y aumentar la cantidad de carbohidratos consumida cada día a 8-10 g/kg de peso corporal. Llevando a cabo esta propuesta abreviada se restaurarán las concentraciones de glucógeno muscular a los valores antes del ejercicio aun después de sólo un día de descanso y aumento de consumo de carbohidratos.

Beneficios sobre el rendimiento de las dietas altas en carbohidratos

Durante los últimos 40 años, muchos estudios de investigación y testimonios de muchos atletas campeones han demostrado que las dietas altas en carbohidratos pueden mejorar el rendimiento en eventos que duran cerca de 90 min o más, incluyendo deportes como fútbol que involucran múltiples sprints intermitentes. Desafortunadamente, en base a investigación limitada, parece ser que las atletas mujeres pueden no beneficiarse de las dietas altas en carbohidratos; no es clara la razón de esta diferencia entre sexos.

Una vez que se incrementan las concentraciones de glucógeno muscular en reposo por la carga de carbohidratos, parece que los atletas pueden continuar entrenando a bajas intensidades por unos 20 minutos cada día sin ocasionar una reducción significativa en los almacenes aumentados de glucógeno.

¿Debo consumir una dieta alta en carbohidratos todos los días?

Consumir una dieta alta en carbohidratos puede ser aburrido y en algunas veces ocasionar sensación de llenura y otros malestares gastrointestinales. Siempre que consuma al menos 5-6 g de carbohidratos /kg de peso corporal, usted no necesita consumir una dieta alta en carbohidratos (8-10 g/kg) todos los días durante el entrenamiento. Sin embargo, debe hacer énfasis en el consumo de carbohidratos los días siguientes a sesiones de entrenamiento particularmente intensas y los días previos a las competencias más importantes.

Resumen

Entre más exigente sea el programa de entrenamiento o competencia, mayor será la cantidad de carbohidratos de la dieta necesarios para reponer los almacenes de glucógeno. La falla para reponer estos almacenes resultará en la incapacidad para completar sesiones de entrenamiento intensas o mantener un ritmo de carrera óptimo durante las competencias de resistencia.

Recomendaciones

La preparación óptima para un periodo prolongado de ejercicio intenso es:

- Debe adoptar una dieta que se adecue a su programa, pero asegurarse de que su consumo diario de carbohidratos no sea menor que 5-6 g/kg de peso corporal y sea ~8-10 g/kg en los días que sigan a sesiones de entrenamiento especialmente intensas y los días previos a competencias importantes. Para un atleta de 70 kg (154 Lb), 5-6 g/kg de peso equivalen a 350-420 g de carbohidratos (1400-1680 kcal) y 8-10 g/kg de peso corporal son 560-700 g de carbohidratos (2240-2800 kcal).
- Puede aumentar su consumo de carbohidratos no sólo eligiendo comer más pan, papas, arroz o pasta, sino también incluyendo una bebida concentrada en carbohidratos tal como *Gatorade Carbohydrate Energy Formula*. Bebidas como ésta llevarán al mínimo problemas de distensión y malestar gastrointestinal.
- Cerca de 3 horas antes de realizar ejercicio prolongado debe comer una comida fácil de digerir alta en carbohidratos que aporte alrededor de 2-2.5 g de carbohidratos por kg de peso corporal.
- Cerca de 1 a 2 horas antes del ejercicio debe ingerir alrededor de 600 mL de agua, o aún mejor, una bebida deportiva, para asegurar que esté bien hidratado antes del ejercicio.
- Debe beber frecuentemente alrededor de 200 mL de una bebida deportiva durante el ejercicio prolongado siguiendo la regla simple de que si está sudando mucho, entonces debe asegurarse de beber lo suficiente para evitar la deshidratación severa y llevar al máximo los beneficios del consumo de carbohidratos. Durante el ejercicio, debe beber lo necesario para llevar al mínimo la pérdida de peso, pero evitando ganar peso.

FUENTES ADICIONALES SUGERIDAS

Burke, L.M., B. Keins, and J.L. Ivy (2004). Carbohydrates and fat for training and recovery. *J. Sports Sci.* 22(1):15-30.

Coyle, E. (2004). Highs and lows of carbohydrate diets. *GSSI Sports Science Exchange No. 93*, 17(2):1-6.

Sherman, W., D. Costill, W. Fink, and J. Miller (1981). Effect of exercise-diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Int. J Sports Med.* 2:114-118.

Williams, C. (2007). Carbohydrate as an energy source for sport and exercise. In: D. MacLaren (Ed.), *Nutrition and sport* (pp. 41-72). Edinburgh: Churchill Livingstone.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Williams, C., and Lamb, D. (2008). Do high- carbohydrate diets improve exercise performance? *Sports Science Exchange* 107, 21 (1), por Lourdes Mayol Soto, M.Sc.