

Monograph

Elección del Tiempo y Método del Aumento de la Ingesta de Carbohidratos para hacer frente al Entrenamiento Intenso, la Competencia, y la Recuperación

Edward F Coyle¹

¹Human performance Laboratory, The University of Texas at Austin, Austin, TX 78712, Estados Unidos.

RESUMEN

Basados en el hecho que la fatiga durante un ejercicio prolongado e intenso se debe comúnmente al agotamiento del glucógeno muscular y hepático, lo que limita tanto el entrenamiento como la performance competitiva, este trabajo ha propuesto prácticas alimenticias extraordinarias que generalmente se inclinan por el alto consumo de carbohidratos en todo momento, antes, durante, y después del ejercicio. El simple objetivo es tener tantos carbohidratos en el organismo como sea posible, durante las últimas etapas de un ejercicio prolongado e intenso. Esta teoría se pone en práctica, recomendando que la ingesta de carbohidratos luego de ejercicios que llevan al agotamiento, sea aproximadamente de 50 g cada 2 horas. El objetivo debería ser ingerir un total de 600 g en 24 horas. No debería evitarse su consumo durante las 4 horas previas al ejercicio, y en realidad es mejor comer al menos 200 g durante este tiempo. Cuando sea posible, se deberían consumir carbohidratos durante el ejercicio, generalmente en forma de soluciones que contengan glucosa/sucrosa/maltodextrinas, en una tasa de 30-60 g.h⁻¹. Se debe poner énfasis en comer la cantidad óptima y el mejor tipo de carbohidratos en los tiempos apropiados, ya que estos ejercicios demandan una gran cantidad de alimentos. Cuando la dieta no se planifica cuidadosamente de acuerdo a estos conceptos, los atletas de resistencia tienden a consumir muy pocos carbohidratos debido a que se sacian con alimentos de alto contenido graso y atraviesan períodos en el día en donde la reposición de las reservas de glucógeno está por debajo de los niveles óptimos.

Palabras Clave: índice glucémico, carbohidratos, grasas, dieta, azúcar, glucógeno

INTRODUCCION

Una nutrición adecuada es esencial para la óptima performance deportiva. La dieta de una persona debe contener cantidades adecuadas de los distintos nutrientes que son utilizados para regenerar tejidos y para proveer combustible a los diferentes procesos, particularmente al ejercicio muscular. Los carbohidratos son los nutrientes más importantes en la dieta de un atleta, ya que son el único combustible que puede dar potencia a ejercicios intensos durante períodos prolongados, pero su reserva en el organismo es relativamente pequeña. Los atletas frecuentemente están “desnutridos”

con respecto a los carbohidratos, y por lo tanto su entrenamiento y performance se ven afectados (Costill y cols., 1988). El propósito de este trabajo es discutir los métodos para aumentar la ingesta de carbohidratos, con el propósito de acelerar los procesos de recuperación de entrenamientos intensos y mejorar el rendimiento durante la competencia. También se discutirá las condiciones que requieren suplementación de carbohidratos, así como el tipo y las cantidades más adecuadas. Los diferentes regímenes de ingesta de carbohidratos serán juzgados por cómo permiten a los atletas ejercitar en forma intensa durante las últimas etapas del ejercicio, cuando las reservas de carbohidratos, a menudo, son limitadas. Estas recomendaciones son aplicables mayormente a aquellos atletas que entrenan frecuentemente en forma intensa, y tienen frecuentemente, vaciamiento del glucógeno muscular, a veces hasta diariamente. Sin embargo, estos concejos también se pueden aplicar a la persona común, que por breves períodos, puede participar en actividades intensas. Ellos también se pueden beneficiar con una suplementación de carbohidratos, por la misma razón por la que se benefician los atletas.

En este trabajo, el consumo de carbohidratos es cuantificado en gramos para ilustrar mejor las porciones de alimento, sin embargo, idealmente se debería realizar relativo al peso corporal (en g por kg). Todas las recomendaciones están hechas para una persona de 70 kg. Por lo tanto, si se aplican a personas con otros pesos, se deben calcular las diferencias. Por ejemplo, una persona que pesa 100 kg deberá multiplicar la ingesta recomendada por 1,4 (100/70 kg), mientras que otra que pesa 50 kg deberá multiplicarla por 0,7 (50/70 kg).

TIPOS DE CARBOHIDRATO Y TASAS METABOLICAS

La glucosa es el único tipo de carbohidrato (azúcar o almidón) que el músculo esquelético puede metabolizar fácilmente para energía y almacenarlo como glucógeno. El hígado puede metabolizar tanto glucosa como fructosa. El propósito principal de comer carbohidratos antes, durante, y después del ejercicio es brindar glucosa al músculo esquelético. El propósito secundario es brindar glucosa y fructosa al hígado, para la síntesis glucogénica en ese órgano. Los carbohidratos pueden ser clasificados, funcionalmente, de acuerdo al grado en que aumentan la concentración de la glucosa sanguínea (índice glucémico), y por la magnitud en la cual activan la secreción de insulina, que refleja y responde a la tasa de entrada de glucosa en la sangre.

El índice glucémico se determina, generalmente, por la tasa a la cual la ingestas de carbohidratos se hace disponible a las enzimas intestinales para la hidrólisis y la absorción intestinal (O' Dea y cols., 1980; Gatti y cols., 1987). Esta es una función del vaciado gástrico (Mourot y cols., 1988) y de la disponibilidad física del azúcar o del almidón de ser hidrolizado por las enzimas. Esto último está influenciado por la cocción, la que altera la integridad de los gránulos de almidón (Wursch y cols., 1986), y el grado de gelatinización (O' Dea y cols., 1980). Otro factor es el contenido de amilosa versus amilopectina en los alimentos (Behall y cols., 1988; Goddard y cols., 1984). Es erróneo pensar, que el índice glucémico es, simplemente, una función, ya sea de los carbohidratos complejos (por ej., almidón) o de una azúcar simple.

Algunos alimentos ricos en almidón producen respuestas glucémicas que son idénticas a las de la glucosa (por ej., papas al horno, maltodextrinas) (Crapo y cols., 1977; Guezennec y cols., 1989). Por otro lado, el aumento en la glucosa sanguínea luego de comer fructosa o sucrosa, es menor que la observada en una amplia variación de carbohidratos complejos ricos en almidón (por ej., papas, pan, copos de maíz) (Jenkins y cols., 1984). Estos puntos son resumidos en las Tablas 1, 2, y 3, las que muestran varios alimentos clasificados como de alto, moderado, o bajo índice glucémico (Jenkins y cols., 1984), mientras que la Tabla 4 contiene alimentos comunes que el autor no ha podido clasificar, debido a no tener la información suficiente. También se reporta la cantidad de alimento que contiene 50 g de carbohidratos, para poder dar recomendaciones prácticas.

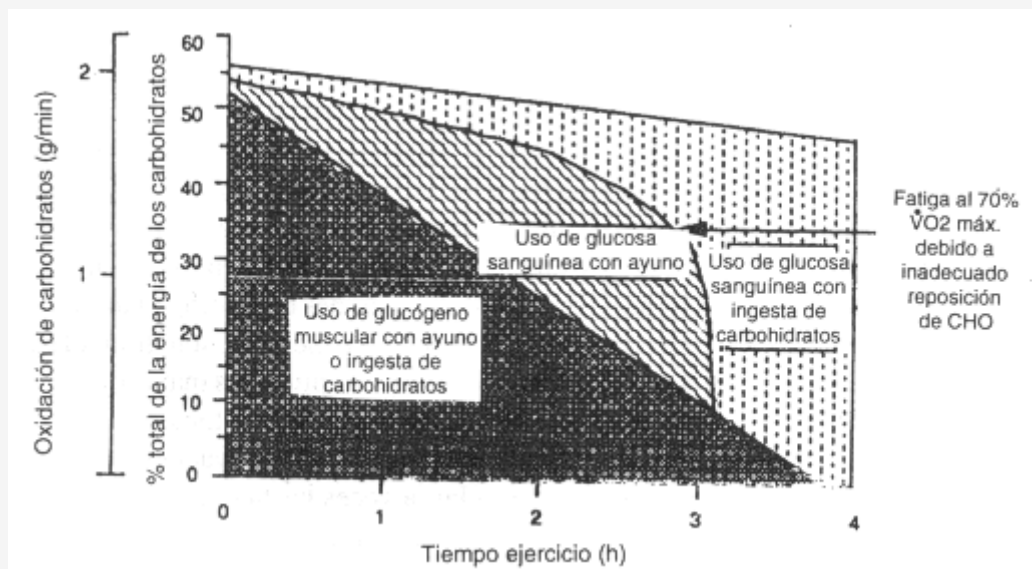


Figura 1. Porcentaje de energía y tasa absoluta de oxidación de carbohidratos que es derivada del glucógeno muscular y glucosa sanguínea durante ciclismo prolongado. Cuando se entrena al 70-75% del VO_2 máx. aproximadamente el 50% de la energía deriva de los carbohidratos, y el 50% de las grasas. La contribución del glucógeno muscular a la energía es similar, con o sin ingesta de carbohidratos durante el ejercicio. Se muestra la energía derivada de la glucosa sanguínea cuando se ha ayunado y cuando se consumieron carbohidratos. La fatiga se produce luego de 3 horas con el ayuno, ya que la concentración de la glucosa sanguínea disminuye por debajo del 30%. La ingesta de carbohidratos que mantiene esta concentración, permite que la oxidación de glucosa sanguínea aumente hasta proveer casi toda la energía de los carbohidratos, durante el período de 3-4 horas de ejercicio. Adaptado de Coyle y cols. (1986).

Grupos de alimentos	Item	Porción (g o ml) conteniendo 50 g de carbohidratos	Grasa por porción (g)
Cereales	Pan blanco	201 g	2
	Pan para comida	120 g	3
	Pan de centeno (magro)	104 g	4
	Bagel	89 g	2
	Facturas	90 g	29
	Arroz (grano entero)	196 g	1
	Arroz (blanco)	169 g	0.5
Cereales de desayuno	Copos de maíz	59 g	1
	Muesli	76 g	6
	Trigo fragmentado	74 g	2
	Weetabix	71 g	2
Bizcochos y Confituras	Bizcochos semi-dulces de trigo integral	76 g	16
	Pan crocante-centeno	71 g	1.5
	Galletitas saladas	66 g	8
	Barra de chocolate (contiene sucrosa y glucosa)	75 g	14
Verduras	Maíz tierno	219 g	5
	Porotos	704 g	4
	Chirivía (pastinaca)	370 g	Trazos
	Papa (instantánea)	310 g	0.5
	Papa (hervida)	254 g	Trazos
	Papa (al horno)	200 g	Trazos
Frutas	Pasas de uvas	78 g	Trazos
	Bananas	260 g	1
Azúcares	Glucosa	50 g	0
	Maltosa	50 g	0
	Miel	67 g	3
	Sucrosa	50 g	0
	Melazas	113 ml	0
	Almíbar de maíz	63 g	0
Bebidas	Solución con 6% de sucrosa	833 ml	0
	7,5% de maltodextrina y azúcar	666 g	0
	10% de almíbar de maíz-bebida carbonatada	500 ml	0
	20% de maltodextrina	250 ml	0

Tabla 1. Alimentos que contienen carbohidratos con un alto índice glucémico, (alimentos listados en estado de ser ingeridos). De acuerdo a Jenkins y cols. (1988 y 1984); los alimentos son clasificados en comparación opuesta al pan blanco con un equivalente de 100. Alimentos con valores >85 son considerados "de tener altos índices glucémicos". Valores nutricionales de McCance y Widdowson's, *La Composición de los Alimentos*, 4ta. edición revisada, A.A. Paul y D.A.T. Southgate (1978), Londres: HMSO, y Valores de los alimentos de las porciones comúnmente usadas, por Jean A.T. Pennington, Nueva Cork: Harper y Row, 15ava. edición.

Grupo de alimentos	Item	Porción (g o ml) conteniendo 50 g de carbohidratos	Grasa por porción (g)
Cereales	Spaghetti/Macarrón	198	1
	Fideos (tipo oriental)	370	14
Cereales de desayuno	Pepitas de trigo y salvado	232	13
	Avena	69	1
Bizcochos y Confituras	Bizcochos de avena	79	15
	Dulces caseros	67	11
	Torta esponjosa	93	6
Vegetales	Batata (dulce)	249	1
	Papaya	168	Trazos
	Papas fritas saladas	100	40
Frutas	Uvas (negras)	323	Trazos
	Uvas (verdes)	310	Trazos
	Naranjas	420-600	Trazos

Tabla 2. Alimentos que contienen carbohidratos con un moderado índice glucémico (alimentos listados en estado de ser ingeridos). De acuerdo a Jenkins y cols. (1988 y 1984); los alimentos son clasificados en comparación opuesta al pan blanco con un equivalente de 100. Alimentos con valores entre 60-85 son considerados como con "moderados índices glucémicos". Valores nutricionales de McCance y Widdowson's, *La Composición de los Alimentos*, 4ta. edición revisada, A.A. Paul y D.A.T. Southgate (1978), Londres: HMSO, y *Valores de los alimentos de las porciones comúnmente usadas*, por Jean A.T. Pennington, Nueva Cork: Harper y Row, 15ava. edición.

RESINTESIS DEL GLUCOGENO MUSCULAR LUEGO DEL EJERCICIO

La reposición del glucógeno muscular luego del entrenamiento intenso o de la competencia, a menudo, dictamina el tiempo necesario de recuperación entre series intensas de ejercicio. Es comúnmente establecido que el glucógeno muscular se vacía luego de 2-3 horas de ejercicio continuo, realizado a intensidades de aproximadamente el 60-80% del VO_2 máx. A pesar de ser cierto, usualmente no se aprecia también, que el glucógeno muscular puede ser depletado luego de sólo 15-30 minutos de ejercicio realizado a altas intensidades (90-130% del VO_2 máx.), con series intercaladas de 1-5 minutos de ejercicios, seguidas de un período de descanso, y luego otra serie y descanso, etc. (Keizer y cols., 1986). Estos modelos de ejercicio intenso son típicos de muchos deportes individuales y de conjunto. No es inusual que los deportistas que practican fútbol o jockey vacíen sus reservas glucogénicas luego del primer tiempo del partido, o después de una práctica intensa. Existe buena evidencia de que los bajos niveles de glucógeno muscular están asociados con un aumento en el riesgo de lesiones en el esquí alpino, especialmente en esquiadores recreacionales (Eriksson y cols., 1977). Por lo tanto, los atletas que intentan entrenar diariamente a intensidades que producen vaciamiento glucogénico, deben aumentar el consumo de carbohidratos de 50-60% al 70-80% del total calórico (Costill y cols., 1988), lo que les ayudará, pero no siempre garantizará, una reserva óptima de glucógeno muscular (Kirwan y cols., 1988).

El ejercicio intenso usualmente causa una disminución en la concentración del glucógeno muscular de aproximadamente 100 mmol.kg^{-1} (por ej., de 130 a 30 mmol.kg^{-1}). Por lo tanto, para simplificarlo, la tasa de resíntesis de glucógeno en unidades de mmol.kg^{-1} , generalmente concuerda con el porcentaje de reposición por hora. En las personas, el glucógeno muscular es resintetizado a niveles normalmente altos, a una tasa sólo cercana a 5 mmol.kg^{-1} de músculo- l.h^{-1} , lo que corresponde a una tasa del 5% por hora, aproximadamente (5 mmol.kg^{-1} de músculo- l.h^{-1} cuando se intenta aumentar el glucógeno a 100 mmol.kg^{-1}). Por lo tanto, se requieren 20 horas para reponer las reservas glucogénicas.

Será necesario más tiempo si la dieta no es la adecuada. Los factores alimenticios importantes a tener en cuenta son: (a) la tasa de consumo de carbohidratos, (b) el tipo de carbohidrato, y (c) el momento para el consumo de carbohidratos, luego del ejercicio.

Tasa de Consumo de Carbohidratos

Blom y cols. (1987) e Ivy y cols. (1988b), nutrieron grupos de sujetos con diferentes cantidades de carbohidratos de alto contenido glucémico (glucosa o maltodextrinas), cada 2 horas luego del ejercicio, y evaluaron las tasas de síntesis de glucógeno muscular durante las primeras 6 horas. Observaron que la síntesis glucogénica aumentaba desde 2% por hora

(2 mmol.kg⁻¹.h⁻¹), cuando se ingerían 25 g cada 2 horas, hasta 5-6% por hora (5-6 mmol.kg⁻¹.h⁻¹), cuando se ingerían 50 g cada 2 horas. Sin embargo, no observaron que esta síntesis aumentara más de 5-6% por hora (5-6 mmol.kg⁻¹.h⁻¹), aunque se consumieran 100, 112, o 225 g cada 2 horas. Este “plateau” o meseta en la síntesis de glucógeno no parece ser causado simplemente por una acumulación de carbohidratos en el aparato gastrointestinal, ya que Reed y cols. (1989) también reportaron que una infusión de glucosa intravenosa de 100 g cada 2 horas no provocaba aumentos en la síntesis del glucógeno muscular por encima de los 7-8 mmol.kg⁻¹.h⁻¹. Además, esta incapacidad para aumentar la síntesis con el aumento en la ingesta de carbohidratos o de infusión de glucosa intravenosa (100 g cada 2 horas) ocurría, a pesar del hecho que el incremento en la administración de carbohidratos promovía, progresivamente, mayores incrementos en la glucosa sanguínea y en la concentración de insulina plasmática, valores que permanecían dentro del rango fisiológico (Blom y cols., 1987; Ivy y cols., 1988b; Reed y cols., 1989). Por lo tanto, otros factores además de la entrada de glucosa en la sangre (dentro del rango normal, parecen limitar la resíntesis del glucógeno muscular luego del ejercicio. Una posibilidad puede ser que la oferta de glucosa al músculo esta limitada por el flujo sanguíneo muscular, y que el aumento en la administración de glucosa no tenga mucho efecto en el incremento de la oferta de glucosa al músculo, aunque aumenta la respuesta de insulina que causa una mayor oxidación de glucosa (Bourey y cols., 1990; Constable y cols., 1984; Reed y cols., 1989). Esto sugiere que la síntesis del glucógeno muscular está cerca de los valores óptimos (5-7 mmol.kg⁻¹.h⁻¹), cuando se ingieren al menos 50 g de glucosa cada 2 horas. Esta es la base para la recomendación que la cantidad y tipo de alimento a ingerir, luego del ejercicio, para una resíntesis óptima de glucógeno muscular debería ser aquella que facilite la entrada de glucosa a la sangre y la circulación sistémica a una tasa de al menos 50 g cada 2 horas. Este objetivo se puede lograr teniendo en cuenta tanto el índice glucémico, que refleja la tasa de absorción, como la cantidad de carbohidratos consumidos. Las Tablas 1 a 4 presentan las porciones de varios alimentos que contienen 50 g de carbohidratos.

Grupo de alimentos	Item	Porción (g o ml) conteniendo 50 g de carbohidratos	Grasa por porción (g)
Frutas	Manzanas	400 g	Trazos
	Puré de manzanas (dulce)	290 g	Trazos
	Cerezas	420 g	Trazos
	Dátiles (secos)	78 g	Trazos
	Higos	526 g	Trazos
	Pomelo (en lata)	300 g	Trazos
	Duraznos	450-550 g	Trazos
	Ciruelas	400-550 g	Trazos
Legumbres	Porotos de manteca	292 g	1
	Porotos al horno	485 g	2
	Porotos Haricot	301 g	2
	Arvejas	305 g	5
	Lentejas rojas	294 g	2
	Frijoles	238 g	1
	Fructosa	50 g	0
Productos lácteos	Helados	202 g	13
	Leche (entera)	1.1 l	40
	Leche (descremada)	1.0 l	1
	Yogur (sin gusto, bajas calorías)	800 g	8
	Yogur (de frutas, bajas calorías)	280 g	3
Sopas	Sopa de tomate	734 ml	6

Tabla 3. Alimentos que contienen carbohidratos con un bajo índice glucémico (alimentos listados en estado de ser ingeridos). De acuerdo a Jenkins y cols. (1988 y 1984), los alimentos son clasificados en comparación opuesta al pan blanco con un equivalente de 100. Alimentos con valores <60 son considerados como con “bajos índices glucémicos”. Valores nutricionales de McCance y Widdowson's, *La Composición de los Alimentos*, 4ta. edición revisada, A.A. Paul y D.A.T. Southgate (1978), Londres: HMSO, y Valores de los alimentos de las porciones comúnmente usadas, por Jean A.T. Pennington, Nueva Cork: Harper y Row, 15ava. edición.

Grupo de alimentos	Item	Porción (g o ml) conteniendo 50 g de carbohidratos	Grasa por porción (g)
Bebidas	Jugo de manzana	36 ml	0
	Jugo de uva	311 ml	Trazos
	Néctar de papaya	326 ml	0
	Jugo de ananá	371 ml	0.5
	Jugo de ciruelas pasa	269 ml	Trazos
	Jugo de pomelo (azucarado)	515 ml	Trazos
Productos con cereales/granos	Tortas de arroz	60 g	22
	Panqueques	138 g	22
	Crema de arroz	340 g	9
Bizcochos y Confituras	Mantecados	76 g	20
	Galletitas con crema	73 g	12
	Torta rica en frutas	86 g	9
	Torta Madeira	86 g	15
	Tarta de mermeladas	80 g	12
	Budín de Navidad	105 g	12
	Escones	89 g	13
	Tarta de frutas	88 g	14
	Dulces (caramelo quemado)	57 g	Trazos
	Varios	Pizza (queso y tomate)	202 g
Frutas	Damascos (en compota con azúcar)	320 g	Trazos
	Damascos (secos)	115 g	Trazos

Tabla 4. Alimentos que contienen carbohidratos con un indeterminado índice glucémico (alimentos listados en estado de ser ingeridos). Valores nutricionales de McCance y Widdowson's, *La Composición de los Alimentos*, 4ta. edición revisada, A.A. Paul y D.A.T. Southgate (1978), Londres: HMSO, y *Valores de los alimentos de las porciones comúnmente usadas*, por Jean A.T. Pennington, Nueva Cork: Harper y Row, 15ava edición.

Tipo de Carbohidratos y Resíntesis Glucogénica

Como se discutió previamente, la tasa de síntesis glucogénica luego del ejercicio e ingesta de glucosa, o alimentos con un alto índice glucémico (Tabla 1), es de 5-6% por hora ($5-6 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (Blom y cols., 1987; Ivy y cols., 1988a; Ivy y cols., 1988b; Reed y cols., 1989). Cuando se ingiere sucrosa, es hidrolizada en cantidades iguales a la glucosa y fructosa. Su consumo produce una tasa de síntesis glucogénica similar al consumo de glucosa, a pesar del hecho que el índice glucémico de la sucrosa es 60-70% de aquel de la glucosa (Blom y cols., 1987; Jenkins y cols., 1984), lo cual lo clasifica con un moderado a alto índice glucémico (Tablas 1 y 2). Una posible explicación de las similares tasas de resíntesis glucogénica post-ejercicio de la glucosa y la sucrosa, puede ser que el nivel de la fructosa formada durante la hidrólisis de sucrosa, reduce el consumo de glucosa del hígado, permitiendo por lo tanto, una suficiente oferta de glucosa al músculo para la resíntesis glucogénica.

Sin embargo, el consumo de fructosa solamente, produce que el glucógeno muscular sea resintetizado a una tasa del 3% por hora ($3 \text{ mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), debido a su bajo índice glucémico (20-30% del de la glucosa; Tabla 3) (Blom y cols., 1987; Jenkins y cols., 1984). Parece que la ingesta de fructosa, aún en grandes cantidades, no puede producir una entrada suficiente de glucosa a la sangre (50 g cada 2 horas), probablemente por la tasa relativamente baja con la cual el hígado convierte fructosa a glucosa sanguínea. En cuanto a los azúcares simples, se supone que la glucosa y la sucrosa, que poseen índices glucémicos altos y moderados, son igualmente efectivas en la reposición parcial de glucógeno muscular, durante el período de 4-6 horas posteriores al ejercicio, teniendo la fructosa el 50% de efectividad debido a su bajo índice glucémico.

Es limitada la información disponible con respecto a las tasas de síntesis glucogénica producidas por la ingesta de alimentos comunes que contienen varios almidones de azúcares. Cuando el tipo de carbohidrato consumido produce un alto y moderado índice glucémico (Tablas 1 y 2), no hay mucha diferencia si dicho carbohidrato es en forma líquida o sólida (Keizer y cols., 1986; Reed y cols., 1989). La tasa de resíntesis de glucógeno muscular luego de comer arroz (100 g cada 2 horas), que posee un moderado índice glucémico (Tabla 2), no es diferente de la observada cuando se ingiere una cantidad

igual de maltodextrinas (alto índice glucémico; $4,6 \pm 0,5$ contra $5,1 \pm 1,0$ $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, Coyle y Ivy, observaciones no publicadas). Basados en nuestros conocimientos actuales, parece que los alimentos con un índice glucémico moderado (Tabla 2) producen una tasa suficiente de entrada de glucosa en la sangre, para producir una tasa de resíntesis glucogénica similar a aquélla después de ingerir alimentos con un alto índice glucémico (Tabla 1). Esto es apoyado por estudios que han observado que la resíntesis del glucógeno muscular es similar durante las 24 horas posteriores al ejercicio cuando se ingieren aproximadamente 600 g de sucrosa/glucosa/fructosa, en comparación con almidones con moderado contenido glucémico (Costill y cols., 1981). Además, Brewer y cols. (1988) han observado que una dieta rica en carbohidratos, obtenidos ya sea de azúcares simples o carbohidratos complejos, era igualmente efectiva para mejorar la performance deportiva.

Existen pocos datos acerca del grado de influencia por el cual las comidas que tienen carbohidratos con un bajo índice glucémico (Tabla 3) promueven la resíntesis glucogénica (Kiens y cols., 1990). Como se discutió previamente, la fructosa es convertida a glucosa lentamente, lo que explica el relativamente bajo índice glucémico de numerosas frutas, y el hecho que estimule sólo la mitad de la resíntesis glucogénica que la producida por alimentos altamente glucémicos. Las legumbres poseen un bajo índice glucémico en gran parte porque el gránulo de carbohidrato no es accesible a las enzimas digestivas (Wursch y cols., 1986), factor que puede ser influenciado por el procesamiento y cocción de los alimentos. Parece que las legumbres de bajo contenido glucémico pueden producir una suficiente tasa de entrada de glucosa a la sangre para una adecuada síntesis glucogénica, en el período de 20-44 horas luego del ejercicio, pero esta tasa puede estar por debajo de los niveles óptimos durante las primeras 6 horas (Kiens y cols., 1990). Sin embargo, hasta que no se tengan más datos directos, se presume que los alimentos con un bajo índice glucémico (Tabla 3), no deberían incluirse en el volumen de carbohidratos ingeridos luego del ejercicio, cuando el apetito es suprimido, ya que es probable que la síntesis glucogénica se vea afectada. Se estima, de una manera arbitraria, que no más de un tercio de los carbohidratos consumidos deberían provenir de alimentos de bajo índice glucémico (Tabla 3), cuando se intenta maximizar la resíntesis glucogénica.

Elección del Tiempo para la Ingesta de Carbohidratos luego del Ejercicio.

Durante las primeras dos horas luego del ejercicio, la tasa de resíntesis glucogénica es de 7-8% por hora ($7-8$ $\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$), lo que significa que es un poco más rápida que la tasa normal de 5-6% por hora, pero ciertamente no rápida (Ivy y cols., 1988b). Luego del ejercicio, un atleta debería ingerir suficiente cantidad de carbohidratos, tan pronto como pueda. La razón más importante de esto, es que le proveerá más tiempo total para la resíntesis.

Debido a que consumir más de 50 g de carbohidrato (con un índice glucémico alto o moderado), cada 2 horas, no parece beneficioso para incrementar la resíntesis glucogénica, uno podría pensar que es mejor comer pequeñas raciones frecuentes hasta que haya sido consumida una suficiente cantidad total de carbohidratos (>600 g para una persona de 70 kg). Sin embargo, éste no parece ser el caso. Costill y cols. (1981) en un estudio, suministró a los sujetos 525 g de carbohidratos en un período de 24 horas (lo que abarcaba el 70% de la ingesta calórica), y observó que la síntesis de glucógeno muscular era similar cuando se consumían dos grandes comidas que cuando se comían siete raciones más pequeñas.

Consideraciones Prácticas y Recomendaciones Específicas

Por lo general, las personas no tienen apetito inmediatamente luego de un ejercicio intenso, y a menudo, prefieren tomar una bebida antes que comer alimentos sólidos (Keizer y cols., 1986). Por lo tanto, las bebidas que contengan glucosa, sucrosa, maltodextrinas o almíbares en concentraciones de 6 g/100 ml (6%) o más, deberían estar disponibles para su consumo. La Tabla 1 enumera los volúmenes de varias soluciones de alto contenido glucémico que deberían ingerirse cada 2 horas, para obtener al menos 50 g de carbohidratos. Si se prefiere, no existe ninguna razón por la cual un atleta no pueda consumir alimentos sólidos. Sin embargo, debido a que usualmente no se tiene apetito, no deberían ingerir, en primer término, alimentos más concentrados en carbohidratos y que tengan un alto índice glucémico. Estos alimentos, en general, tienen una cantidad relativamente pequeña de grasas, proteínas y fibras (por ej., bananas, pasas de uva, golosinas con alto contenido de carbohidratos). Cuando vuelva el deseo de consumir alimentos sólidos, el atleta debería comer lo suficiente para asegurar, que un total de aproximadamente 600 g de carbohidratos sean ingeridos en el lapso de 24 horas. La mayoría de los alimentos seleccionados deberían tener un índice glucémico moderado o alto (Tablas 1 y 2), a pesar de que una cierta cantidad de carbohidratos de bajo contenido glucémico también es aceptable (un tercio del total de carbohidratos). El deportista debería evitar consumir alimentos que contengan menos del 70% de carbohidratos, y por lo tanto, alto contenido graso y proteico, especialmente durante las primeras 6 horas luego del ejercicio, porque a menudo esto suprime el hambre y limita la ingesta de carbohidratos.

En forma realista, debido a otras actividades diarias como dormir, generalmente no es posible consumir alimentos frecuentemente (cada 2 horas), los cuales contengan al menos 70% y 50 g de carbohidratos. Por lo tanto, cuando una persona se vea obligada a no comer por un período largo de tiempo, su última comida debería contener suficientes carbohidratos como para cubrir tal período (50 g por 2 horas y por lo tanto, 150 g para un período de 6 horas o 250 g para

10 horas). Para asegurar una tasa más uniforme de vaciado gástrico, digestión de carbohidratos y disponibilidad de glucosa sanguínea, durante este período, probablemente es útil que esta comida contenga una limitada cantidad de grasas y proteínas, porque ellas demoran el vaciado gástrico de una comida rica en carbohidratos.

Esto puede explicar por qué Costill y cols. (1981) observaron que la síntesis glucogénica era similar con dos comidas abundantes que con siete más pequeñas. Sin embargo, si una persona elige comer sólo dos veces por día, se debe dar cuenta que cada una de estas comidas puede llegar a ser pesada, si se obtiene solamente de alimentos ricos en almidón (por ej., pan, papas, arroz, spaghetti, cereales, etc.). Es por esto que a menudo es necesario beber soluciones con carbohidratos concentrados.

Dada la limitada tasa de recuperación del glucógeno muscular post-ejercicio, no es posible entrenar con la óptima cantidad de glucógeno, cuando se realizan dos o tres sesiones diarias. Aún cuando la ingesta de carbohidratos sea elevada, el glucógeno muscular estará probablemente por debajo de los niveles adecuados, en relación directa con el volumen de ejercicios de alta intensidad realizados durante la sesión extra. Como resultado, los atletas no serán capaces de tolerar entrenamientos a intensidades competitivas pico. Por lo tanto, es bien sabido que se debe permitir un tiempo de recuperación suficiente, entre sesiones de entrenamiento a velocidades de carrera, durante el "pico" de la temporada competitiva, y que puede ser contraproducente no reducir los volúmenes de entrenamiento.

MAXIMIZAR EL GLUCOGENO MUSCULAR ANTES DE LA COMPETENCIA

Unos días antes de un evento competitivo prolongado e intenso, los atletas deberían regular las dietas y el entrenamiento, para llevar al máximo ("supercompensar" o "cargar") las reservas de glucógeno muscular. Altos niveles glucogénicos previos al ejercicio, le permitirán al atleta ejercitar por más largos períodos de tiempo, demorando la fatiga. El método más práctico (Sherman y cols., 1981) de "llenado de glucógeno" es alterar el entrenamiento y la dieta por 7 días. Durante los días 7, 6, 5, y 4 previos a la competencia se debería entrenar con una intensidad moderada (1-2 horas) y consumir una dieta moderadamente baja en carbohidratos (350 g.día⁻¹). Esto hará que el músculo este suficientemente privado de este sustrato y listo para supercompensar, sin llegar a hacer que la persona se sienta débil, como ocurre a veces, cuando los carbohidratos son eliminados. Sin embargo, aún no ha podido establecerse la magnitud a la cual se debe restringir su consumo. Durante los 3 días previos a la competencia el entrenamiento debería ser de "puesta a punto" (30-60 min.día⁻¹ de intensidad baja a moderada) y la dieta debería tener un alto contenido de carbohidratos (500-600 g.día⁻¹). Tal régimen aumentará las reservas de glucógeno muscular en un 20-40% o más, por encima de lo normal. Este régimen "modificado" de llenado glucogénico es tan efectivo como el "clásico" (Bergstrom y Hultman, 1966), y más práctico, debido a que no requiere que los atletas intenten mantener los entrenamientos, mientras consumen una dieta rica en grasas. También se ha sugerido que la supercompensación del glucógeno muscular mejora la performance durante el ejercicio máximo, de sólo varios minutos de duración (Maughan, 1990).

NUTRICION PRE-COMPETITIVA

A pesar de que se concuerda en que los atletas deberían consumir suficientes carbohidratos el día previo a la competencia, hay menos consenso con respecto a cuándo, cuánto, y qué tipo de carbohidratos deberían ingerirse.

Cuando las Reservas de Combustible son Adecuadas

La única razón para comer grasas o proteínas durante las horas previas al ejercicio es controlar el hambre, lo que no es trivial ya que provoca una sensación de bienestar. Cuando se participa en deportes y actividades que no son prolongadas ni intensas y que, por lo tanto, no requieren más carbohidratos que lo normal, la elección de consumo de alimentos antes del ejercicio debería basarse en experiencias previas, sobre lo que minimiza el hambre y previene la sensación de satisfacción estomacal.

El Ejercicio que está limitado por la Disponibilidad de Carbohidratos

El objetivo de consumir carbohidratos antes del ejercicio es optimizar el suministro de glucógeno muscular y glucosa sanguínea en las últimas etapas del mismo. Las comidas ricas en carbohidrato previas al ejercicio tienen los siguientes efectos: 1) promueven una síntesis adicional de glucógeno muscular cuando las reservas no están ya supercompensadas, 2) abastecen glucógeno hepático y glucosa de reserva en el organismo (por ej., intestinos) para la potencial oxidación durante

el ejercicio, y 3) provocan un aumento en la oxidación de carbohidratos durante el ejercicio y una disminución en la oxidación de grasas.

A pesar de que estas dos primeras respuestas son beneficiosas, ya que más carbohidratos es almacenado dentro del organismo, aún existe la controversia sobre las ventajas y desventajas del aumento en la oxidación de carbohidratos. Parece que no es beneficioso que el incremento en la oxidación de carbohidratos sea mayor que el incremento en la reserva del mismo, ya que éstas se podrían depletar más rápidamente en comparación a cuando el carbohidrato no es consumido antes del ejercicio.

Suministro de Azúcar durante la Hora previa al Ejercicio

El ayuno nocturno seguido por la ingesta de azúcar durante la hora previa a un ejercicio de intensidad moderada (60-75% del VO_2 máx.) puede causar una disminución en la concentración de glucosa sanguínea al comienzo del ejercicio (Costill y cols., 1977). Esto se debe a los efectos de la hiperinsulinemia que aumenta el consumo de glucosa de los músculos contráctiles, en el momento en que la producción de glucosa hepática puede ser reducida creando, por lo tanto, un desbalance e hipoglucemia (Ahlborg y Felig, 1976; Ahlborg y Bjorkman, 1987; Costill y cols., 1977). Por lo general, esto no es percibido por el individuo y no causa debilitamiento muscular. La hiperinsulinemia también tiene el efecto prolongado de reducir la liberación de los ácidos grasos libres (AGL) de los adipositos y la tasa de oxidación de las grasas (Coyle y cols., 1985).

Por lo tanto hay un cambio en los combustibles trasladados por la sangre, de AGL a glucosa. Existe bastante controversia con respecto a si estos procesos alteran el uso del glucógeno muscular. En teoría, el uso del glucógeno se podría aumentar si la disminución en la oxidación grasa no estuviera compensada por un proporcional incremento en el consumo y oxidación de glucosa sanguínea por el músculo. Los dos estudios que han observado que ingerir azúcares pre-ejercicio aumenta levemente el uso del glucógeno muscular, también reportaron una disminución relativamente grande en la concentración de glucosa sanguínea, lo que pudo haber limitado aumentos en el consumo de glucosa muscular (Costill y cols., 1977; Hargreaves y cols., 1985). Otros estudios no han observado que los suministros de azúcar, durante la hora previa al ejercicio, aumenten el uso del glucógeno muscular, posiblemente debido a que la hipoglucemia no fue tan pronunciada (Levine y cols., 1983; Koivisto y cols., 1985; Gleeson y cols., 1986; Fielding y cols., 1987; Hargreaves y cols., 1987).

Más notable, cuando se examinan los estudios que han evaluado la performance de resistencia luego de la ingesta de azúcar durante la hora previa al ejercicio (Tabla 5), es el hecho que sólo un estudio ha reportado un efecto negativo (Foster y cols., 1979); cuatro estudios no han observado efectos significativos (McMurray y cols., 1983; Keller y Schwarzkopf, 1984; Devlin y cols., 1986; Hargreaves y cols., 1987); y tres estudios han reportado mejorías en la performance (Gleeson y cols., 1986; Okano y cols., 1988; Peden y cols., 1989). Por lo tanto, hay poco apoyo para la idea que el consumo de azúcar antes del ejercicio perjudique la performance.

Referencia	Tiempo de suministro antes del ejercicio	Cantidad y tipo de carbohidratos	Protocolo de ejercicio	Efecto sobre la performance
Efecto negativo Foster y cols., 1979	30 min.	70 g glucosa	Ciclismo al 80% del VO_2 máx.	Disminución del 19% en el tiempo de fatiga
Ningún efecto McMurray y cols., 1983 Keller y Schwarzkopf, 1984 Devlin y cols., 1986 Hargreaves y cols., 1987	45 min. 60 min. 30 min. 45 min.	100 g glucosa o fructosa 100 g glucosa Golosina: 43 g sucrosa, 9 g grasa, 3 g proteínas 75 g glucosa o 75 g fructosa	Pedestrismo hasta el agotamiento Ciclismo intervalado Ciclismo al 70% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$. Ciclismo al 75% del $\text{VO}_{2\text{máx}}$.	Ningún efecto Ningún efecto Ningún efecto Ningún efecto ni con glucosa ni con fructosa
Efectos Positivos Gleeson y cols., 1986 Okano y cols., 1988 Peden y cols., 1989	45 min. 60 min. 60 min.	70 g glucosa 60-85 g fructosa en individuos sin ayunar 80 o 160 d de polímeros de glucosa	Ciclismo al 70% del VO_2 máx. Ciclismo al 62-81% del VO_2 máx. Ciclismo al 70-80% del VO_2 máx.	Aumento del 13% en el tiempo para la fatiga Aumento del 7% en el tiempo de ejercicio Aumento del 12-13% en la potencia durante los últimos 45 min.

Tabla 5. Efecto del suministro de azúcar durante la hora previa al ejercicio.

Ingesta de Carbohidratos durante las 6 Horas previas al Ejercicio

En un intento por evitar una disminución de la glucosa sanguínea al comienzo del ejercicio, a veces se recomienda que se consuman carbohidratos 3-4 horas antes del ejercicio para permitir, un margen suficiente de tiempo para que la concentración de insulina plasmática retorne a los niveles basales. Sin embargo, los efectos de la insulina sobre los carbohidratos consumidos previo al ejercicio, duran varias horas luego que la insulina haya retornado a los niveles de base, y por lo tanto, la glucosa sanguínea aún disminuye cuando se comienza el ejercicio (70% del VO_2 máx.) hasta 4 horas luego de una comida (Coyle y cols., 1985). Parecen que son necesarias, al menos, 6 horas de ayuno luego de consumir 150 g de alimentos altamente glucémicos, para que la oxidación de carbohidratos y la homeostasis de la glucosa plasmática durante un ejercicio al 70% del VO_2 máx. sean similares a los valores, luego de un ayuno de 8-12 horas (Montain y cols., 1991). Sin embargo, no existe ninguna razón para recomendar que los individuos no consuman alimentos tantas horas (8-12 h) antes del ejercicio. La disminución de la glucosa sanguínea no es problemática (Brouns y cols., 1989b). En realidad, se puede prevenir haciendo que los deportistas ejerciten en forma levemente más intensa, lo que probablemente causará que la producción de glucosa hepática aumente e iguale el consumo de glucosa sanguínea por el músculo (Montain y cols., 1991). Además, la elevación en la oxidación de carbohidratos no debería causar ningún problema si se ha almacenado suficiente cantidad de carbohidratos en el organismo como resultado de la alimentación. Cuando el glucógeno muscular está por debajo de los valores óptimos, una cantidad sustancial de alimentos ricos en carbohidratos antes del ejercicio puede ser convertida en glucógeno muscular en un período de cuatro horas (Coyle y cols., 1985; Neuffer y cols., 1987). Sin duda, también aumenta el glucógeno hepático.

La evidencia acumulada sugiere que la performance mejora cuando una comida relativamente grande, rica en carbohidratos, es consumida 3-4 horas antes de un ejercicio prolongado, en comparación a cuando no se consume nada (Tabla 6). Neuffer y cols. (1987) reportaron que 200 g de una comida compuesta de pan, cereales, y frutas consumida 4 horas antes del ejercicio, así como una golosina (conteniendo 43 g de sucrosa) consumida 5 minutos antes, dan por resultado un aumento del 22% en la potencia de pedaleo en comparación con el grupo placebo. Este aumento del 22% también fue mayor que el 11% de incremento por encima del placebo observado cuando sólo se consumió una golosina. Además, Sherman y cols. (1989) les dieron a ciclistas varias cantidades de carbohidratos 4 horas antes del ejercicio y observaron que un suministro de 312 g de maltodextrinas mejoraba la potencia (15%) durante los últimos 45 minutos (Tabla 2).

Comidas combinadas, conteniendo ya sea 45 g o 150 g de carbohidratos no mejoraron significativamente la performance. Aparentemente, consumir más o menos 150 g de carbohidratos (por ej., pan y jugo), 4 horas antes del ejercicio, no produce un marcado aumento del glucógeno muscular, glucosa sanguínea, u oxidación de carbohidratos luego de 105 minutos de ejercicio (Coyle y cols., 1985), lo que puede explicar por qué Sherman y cols. (1989) no observaron una mejoría en el rendimiento con estas cantidades. Finalmente, Wright y Sherman (1989) han observado que un suministro de 350 g de maltodextrinas, 3 horas antes del ejercicio, mejora significativamente la performance (Tabla 6).

Referencia	Tiempo de suministro antes del ejercicio	Cantidad y tipo de carbohidrato	Protocolo de Ejercicio	Efecto sobre la performance
Neufer y cols., 1987	4 h y/o 5 min. antes	200 g de cereal, pan, frutas, y golosina, (43 g sucrosa, 5 g grasa, 3 g proteína)	45 min. de ciclismo al 77% del VO_{2max} y performance 15 min.	22% mayor potencia que el placebo y 11% mayor potencia que el placebo sólo con la golosina
Sherman y cols., 1989	4 h	45 g de carbohid. de las frutas. Total, 733 kcal	95 min. de ciclismo al 52-70% del VO_{2max} seguido por un test de potencia de 45 min aproximadamente.	Ningún efecto
		156 g de carbohid. de maltodextrina y frutas. Total, 733 kcal. 312 g mayormente de maltodextrinas. Total, 1248 kcal.		15% de aumento
Wright y Sherman, 1989	3 h	350 g de maltodextrinas	Ciclismo al 70% del VO_{2max} con intervalos de alta intensidad cada 45 min.	El trabajo total aumentó un 24%

Tabla 6. Efecto del suministro de carbohidratos durante las 3-4 horas previas al ejercicio, sobre la performance.

Una comida relativamente abundante de carbohidratos antes del ejercicio (>200 g), aparentemente aumenta el rendimiento manteniendo la capacidad de oxidar carbohidratos a altas tasas en las últimas etapas del mismo. Aún no está claro si esto se debe simplemente a la mayor disponibilidad de glucógeno muscular. También puede ser causado por el aumento de consumo y oxidación de la glucosa sanguínea, a pesar de la observación de que su concentración no aumenta (Neufer y cols., 1987; Sherman y cols., 1989). Algunos estudios preliminares sugieren que grandes suministros de carbohidrato previos al ejercicio, en combinación con suministros continuos durante el mismo, lo que aumenta la concentración de la glucosa sanguínea, producen aún mayores mejoras en el rendimiento que cuando el carbohidrato es consumido, solamente previo al ejercicio o sólo durante el mismo (Wright y Sherman, 1989).

Tipos de Carbohidratos a Ingerir durante las 6 Horas previas al Ejercicio

Los alimentos ingeridos durante este período deberían tener bajo contenido graso, pocas fibras, y ser bien tolerados. Si las reservas de glucógeno muscular no están supercompensadas, estos alimentos deberían tener un índice glucémico alto o moderado, para estimular mejor la síntesis. A veces se recomienda que se ingieran comidas con bajo contenido glucémico, particularmente fructosa, para minimizar la respuesta insulínica (Okano y cols., 1988). Esto es aconsejable, solamente en situaciones en las cuales el glucógeno muscular no puede aumentarse más y en las que no se consumirá carbohidratos durante el ejercicio. La razón es tener más glucosa disponible durante el ejercicio, almacenando carbohidratos en el organismo que pueden ser lentamente absorbidos como glucosa durante el mismo. Sin embargo, si se necesita más glucosa, tiene más sentido consumirla durante el ejercicio, como se discute más adelante.

Recomendaciones Específicas

Alimentos con un índice glucémico alto y moderado deberían ser ingeridos antes de aquellos eventos competitivos que produzcan fatiga, debido a un vaciamiento glucogénico. En general se recomienda que se consuman 200-300 g de carbohidratos durante las 4 horas previas al ejercicio. Es muy importante que estas comidas tengan bajo contenido graso, proteico, y de fibras, y que no causen malestar gastrointestinal.

SUMINISTRO DE CARBOHIDRATOS DURANTE EL EJERCICIO

Ejercicio Intenso Prolongado y Continuo

Luego de 1-3 horas de ejercicio continuo al 60-80% del VO_2 máx. es evidente que los atletas se fatigan debido al vaciamiento de carbohidratos. Suministros de este sustrato durante el ejercicio demorarán la fatiga entre 30 y 60 minutos (Coyle y cols., 1983; Coyle y cols., 1986; Coggan y Coyle, 1987). Sin embargo, esta mejoría en el rendimiento no se debe a un ahorro en el uso del glucógeno muscular durante el ejercicio (Coyle y cols., 1986; Fielding y cols., 1985; Flynn y cols., 1987; Hargreaves y Briggs, 1988; Mitchell y cols., 1989a; Noakes y cols., 1988; Slentz y cols., 1990). En cambio, parece que los músculos cuentan mayormente con la glucosa sanguínea para energía durante las últimas etapas del ejercicio (Coyle y cols., 1986).

Estos conceptos son resumidos en la Figura 1, basados en recientes observaciones (Coyle y cols., 1986). En ciclistas bien entrenados, aproximadamente el 50% de la energía para ejercicios al 70% del VO_2 máx. deriva de las grasas, mientras que el 50% restante, de los carbohidratos. Durante las primeras etapas, la mayor parte de la energía de los carbohidratos deriva del glucógeno muscular. A medida que progresa el ejercicio, éste se reduce y contribuye menos a las demandas de carbohidratos y hay una mayor dependencia en la glucosa sanguínea. Luego de 3 horas de ejercicio, tomando solamente agua, la mayor parte de la energía de los carbohidratos deriva aparentemente del metabolismo de la glucosa, la que es transportada de la sangre a las fibras musculares. Bebiendo sólo agua, la fatiga se produce aproximadamente luego de las 3 horas, debido a una disminución en los niveles de glucosa sanguínea que causa un inadecuado suministro de esta energía de carbohidratos. Sin embargo, cuando se consumen carbohidratos a lo largo del ejercicio y la glucosa permanece elevada en el torrente sanguíneo, los sujetos mantienen la necesaria dependencia en los carbohidratos para energía y la fatiga puede ser demorada hasta 1 hora (Figura 1). Notablemente, el uso de glucógeno muscular es mínimo durante esa hora adicional de ejercicio, a pesar del hecho que se mantiene la oxidación de carbohidratos. Esto sugiere que la glucosa sanguínea es el combustible de carbohidrato predominante durante las últimas etapas del ejercicio.

Se debe tener en cuenta que durante estas últimas etapas, cuando el glucógeno muscular es bajo, los atletas dependen de la glucosa sanguínea para energía, sus músculos se sienten cansados y deben concentrarse en mantener el ejercicio a intensidades que normalmente no son "estresantes", cuando las reservas de glucógeno muscular están llenas. Además, los ciclistas, aparentemente, no son capaces de ejercitar más intensamente que al 75% del VO_2 máx. durante varios minutos en las últimas etapas (Coggan y Coyle, 1988). Los suministros de carbohidratos demoran pero no evitan la fatiga, la que se puede producir por otros factores, además de la depleción de carbohidratos (Coyle y cols., 1986).

Este modelo enfatiza que el consumo de carbohidratos durante ejercicios prolongados mejora la performance en eventos que producen hipoglucemia. Por lo tanto, su ingesta es claramente beneficiosa cuando se practica ciclismo por más de 2 horas. Es menos claro el alcance que tiene su consumo para mejorar el rendimiento cuando se corre, o en eventos que duren menos de 2 horas y que obviamente no están limitados por la disponibilidad de carbohidratos. La concentración de glucosa sanguínea no parece disminuir tan fácilmente, durante el pedestriso prolongado, como lo hace durante el ciclismo prolongado (Coggan, 1991); consecuentemente, hay una menor necesidad de suplementos de carbohidratos, especialmente si la duración de la carrera no es mayor a 2 horas (Maughan y cols., 1989). Esto podría explicar por qué algunos maratonistas de nivel mundial (42 km) que terminan en aproximadamente 2,1 a 2,5 horas, no ponen mucho énfasis en el consumo de carbohidratos durante el ejercicio. Algunos atletas encuentran que la dificultad en beber soluciones ricas en carbohidratos durante la carrera pesa más que los beneficios. Sin embargo, Williams y cols. (1990) observaron que la concentración de la glucosa sanguínea disminuía al final de los 30 km en cinta ergométrica, cuando a los sujetos se les suministró para beber solamente agua, mientras que la ingesta de glucosa a lo largo del ejercicio mantenía la concentración de glucosa sanguínea y permitía a los corredores completar los últimos 5 minutos, significativamente más rápido que cuando se bebía agua solamente. Futuras investigaciones deberían evaluar eventos atléticos de 2 a 4 horas de duración.

Varios estudios recientes, utilizando mayormente ciclismo, también han observado que la ingesta de carbohidratos mejora la performance aún cuando la disponibilidad de glucosa sanguínea y la energía de carbohidratos no estaban obviamente

limitadas cuando se consumía agua solamente (Davis y cols., 1988; Mitchell y cols., 1989a; Murray y cols., 1987; Murria y cols., 1989a; Murria y cols., 1989b). Cuando se administraron carbohidratos en estos estudios, los sujetos tuvieron una mayor concentración de glucosa sanguínea, mayores tasas de oxidación de carbohidratos y fueron capaces de mantener una mayor intensidad durante la última etapa del ejercicio. Esto sugiere que la cantidad de carbohidratos disponibles en los últimos momentos influirá en forma directa a la performance y que podría ser beneficioso ingerir carbohidratos en eventos que duren más de 60 minutos (particularmente el ciclismo). Si las reservas orgánicas de carbohidratos previas al comienzo del ejercicio están disminuidas debido a una dieta inadecuada, la suplementación de carbohidratos puede mejorar el rendimiento durante ejercicios de 60 minutos de duración (Neufer y cols., 1987).

Elección del Tiempo para el Suministro de Carbohidratos durante Ejercicios Intensos y Continuos

Consumir carbohidratos durante ejercicios continuos prolongados asegurará que se disponga de este sustrato durante las últimas etapas. Si la suplementación se demora hasta el punto de agotamiento, la fatiga sólo podría ser revertida, y el ejercicio continuado por otros 45 minutos, si la glucosa es infundida en forma intravenosa en altas tasas (más de 1 g.min⁻¹). Esto brinda glucosa a los músculos con la tasa necesaria para mantener su requerimiento energético. Por supuesto, esto no es para nada práctico. Cuando los ciclistas esperan hasta estar agotados y recién después consumen 400 ml de una solución de 50% de maltodextrina, lo que es una gran carga (200 g), son incapaces de absorber esta ingesta lo suficientemente rápido como para mantener las necesidades energéticas de los músculos que trabajan. Esto se ve reflejado por una disminución en la concentración de glucosa plasmática y fatiga luego de los 26 minutos adicionales de ejercicio. Por lo tanto, los deportistas deberían ingerir carbohidratos bastante antes del punto estimado de fatiga. Lo máximo que un ciclista puede demorar este consumo son 30 minutos antes del tiempo de fatiga, cuando se ingiere solamente agua (Coggan y Coyle, 1989). En este caso, se requiere un suministro grande y altamente concentrado de carbohidratos (100-200 g de glucosa, sucrosa, o maltodextrinas en una solución del 50%) para demorar la fatiga en esta situación. A pesar de que esta es una alternativa en situaciones donde no es posible ingerir carbohidratos, previamente durante el ejercicio, esto no es lo ideal. Un mejor enfoque es consumirlos con intervalos regulares a lo largo del ejercicio, de acuerdo a las recomendaciones que se dan más adelante.

Suministro de Carbohidratos durante Ejercicios Intermitentes

A pesar de que, aparentemente, los suministros de carbohidratos no alteran la tasa neta de disminución durante el ejercicio prolongado mantenido a una intensidad alta constante (Coyle y cols., 1986; Hargreaves y Briggs, 1988; Slentz y cols., 1990), ellos pueden afectar al ejercicio intermitente. Ha sido demostrado en ratas y en el ser humano que los suministros de carbohidratos durante ejercicios de baja intensidad, que siguen a ejercicios prolongados de alta intensidad, pueden promover la resíntesis glucogénica dentro de las fibras musculares no activas con baja concentración glucogénica (Constable y cols., 1984; Kuipers y cols., 1987), a pesar de que no siempre (Kuipers y cols., 1989). Por lo tanto, es posible que la ingesta de carbohidratos a lo largo de ejercicios prolongados que varían de intensidades altas a bajas, o que incluyen períodos de descanso, puede dar como resultado una menor reducción en la concentración de glucógeno muscular. Presumiblemente, esto se debe a la resíntesis de glucógeno en fibras que no son activas durante las series de baja intensidad.

En una simulación en el laboratorio del "Tour de Francia", que utiliza ejercicios de intensidad intermitente, se observó que la disminución del glucógeno muscular era reducida consumiendo grandes cantidades de carbohidratos (Brouns y cols., 1989a). A pesar de que no está claro si esto se debe a una disminución de la glucogenólisis o aún aumento de la resíntesis durante el ejercicio, parece haber una buena razón para ingerir carbohidratos durante ejercicios intermitentes para reducir la depleción glucogénica. Esto puede ser particularmente importante cuando se compite repetidamente con escaso tiempo de recuperación y posiblemente con un período inadecuado para la resíntesis completa de glucógeno.

Los consumos de carbohidratos también son beneficiosos durante los deportes que tienen períodos intermitentes de alta intensidad como el fútbol y el jockey sobre hielo, que causan fatiga debido a la depleción glucogénica (Foster y cols., 1986; Muckle, 1973; Simard y cols., 1988). La ingesta de carbohidratos a lo largo del partido, y durante el entretiempo, resulta en un mayor glucógeno muscular y un aumento en la capacidad de efectuar piques de velocidad hacia el final del juego, en comparación a cuando no se consumen carbohidratos y el glucógeno muscular permanece bajo. Las situaciones deportivas durante las cuales los suministros de carbohidratos parecen pocos beneficiosos son aquellas en donde no se llega a la fatiga (carrera de 100 m, béisbol, basketbol suave, levantamiento de pesa) y/o donde no están limitadas por la disponibilidad de carbohidratos.

Tipo de Carbohidratos

La glucosa, sucrosa, y maltodextrinas parecen ser igualmente efectivas para mantener la concentración de glucosa sanguínea, la oxidación de carbohidratos, y para mejorar la performance (Masticote y cols., 1989; Murria y cols., 1989; Owen y cols., 1986). En realidad, es probable que todos los carbohidratos altamente glucémicos, líquidos o sólidos,

enumerados en la Tabla 1, sean igualmente efectivos. Por lo tanto, la selección de carbohidratos para ingerir durante el ejercicio debería estar basada en lo que es mejor tolerado bajo estas condiciones. Los líquidos son, obviamente, más fáciles de ingerir que los sólidos y además reponen fluidos. Las maltodextrinas se han convertido en una forma popular de carbohidratos para la inclusión en bebidas deportivas porque no tienen un sabor muy dulce y, por lo tanto, una solución en concentraciones de 10 g por 100 ml o más, es más sabrosa para la mayoría de las personas. Este es el principal beneficio de las maltodextrinas o de los almíbares de maíz concentrados en comparación con los azúcares porque las tasas de vaciado gástrico y las respuestas metabólicas no son muy diferentes (Guezennec y cols., 1989; Neuffer y cols., 1986; Owen y cols., 1986).

La osmolaridad de las maltodextrinas es menor que la de la glucosa y las secreciones gástricas a veces son menores (Foster y cols., 1980). Debido a que las maltodextrinas no poseen un sabor dulce, los atletas que deben suplementar su dieta con carbohidratos líquidos en un intento por mantener el balance de carbohidratos y energía durante el entrenamiento y competencia intensos, consumirá más maltodextrinas en comparación con los azúcares (Brouns y cols., 1989a). Simplemente, es una forma más sabrosa de consumir muchos carbohidratos.

No se ha observado que los suministros de fructosa sean efectivos para mejorar la performance, en comparación con la glucosa o sucrosa porque su conversión y oxidación como glucosa no es lo suficientemente rápida para satisfacer los requerimientos energéticos durante las últimas etapas del ejercicio (Bjorkman y cols., 1984; Murria y cols., 1989). Por la misma razón, las frutas y otros alimentos de bajo contenido glucémico enumerados en la Tabla 3 probablemente serían de poco provecho si se ingieren durante el ejercicio.

Tasa de Ingesta de Carbohidratos

Basados en la tasa de infusión intravenosa de glucosa requerida para reponer y mantener la disponibilidad de glucosa sanguínea y la oxidación de carbohidratos en las últimas etapas del ejercicio, se deberían ingerir suficientes carbohidratos para proveer a la sangre con glucosa exógena aproximadamente a $1 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$, durante la última parte. Por lo tanto, aproximadamente 60 g de glucosa exógena deben estar fácilmente disponibles dentro del organismo. Para asegurar esto, parece que deben ser consumidas mayores cantidades de carbohidratos.

La mayoría de los estudios que han observado la ingesta de carbohidratos a lo largo del ejercicio para mejorar la performance, le han dado a los sujetos una tasa de $30\text{-}60 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$, comenzando en las primeras etapas del mismo. Esto concuerda, en general, con las necesidades esperadas y distribución de glucosa dentro del organismo, a pesar de que se debería reconocer que aún es incierto el destino de la glucosa ingerida que no es oxidada. También debería reconocerse que las tasas óptimas de consumo de carbohidratos difieren de acuerdo a la actividad y a cada individuo. Por lo tanto la recomendación que deberían ingerirse $30\text{-}60 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$ de carbohidratos durante el ejercicio es muy general, y debería adaptarse más específicamente a la situación a través del ensayo y error, y del sentido común.

El volumen de fluido ingerido durante cada hora de ejercicio para obtener una cantidad determinada de carbohidratos (30 a $60 \text{ g}\cdot\text{h}^{-1}$) dependerá, por supuesto, de la concentración de carbohidratos en esa solución, como se indica en la Tabla 7. Contrariamente a lo que se creía, el agregado de carbohidratos a las bebidas deportivas no tiene que ser a costa de la reposición de fluidos. Las personas pueden vaciar las soluciones de carbohidratos del estómago a una tasa de, aproximadamente, $1000 \text{ ml}\cdot\text{h}^{-1}$ cuando su concentración permanece por debajo de los 10 g cada 100 ml (Neuffer y cols., 1986; Mitchell y cols., 1989a). Como se indica más adelante, esto les brindará suficientes carbohidratos. Además, estas soluciones de 6-10% serán igualmente tan efectivas para minimizar la hipertermia como beber agua solamente (Neuffer y cols., 1986; Owen y cols., 1986; Mitchell y cols., 1989b; Murria y cols., 1989a). Los atletas raramente intentan beber más de $1000 \text{ ml}\cdot\text{h}^{-1}$ de fluido. También se debe notar que cuando se intenta llevar al máximo la tasa a la cual los carbohidratos son vaciados del estómago al intestino para la absorción ($>1 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$), se deberían ingerir soluciones más concentradas ($>20 \text{ g}/100 \text{ ml}$) (Mitchell y cols., 1989b).

Concentración de la solución (%)	Volumen de fluido para una tasa dada de consumo de hidratos de carbono			
	30 g.h ⁻¹ (ml)	40 g.h ⁻¹ (ml)	50 g.h ⁻¹ (ml)	60 g.h ⁻¹ (ml)
6	500	667	833	1.000
7,5	400	533	667	800
10	300	400	500	600
20	150	200	250	300
50	60	80	100	120
75	40	53	67	80

Tabla 7. Tasas deseadas de ingesta de carbohidratos que pueden ser obtenidas consumiendo las cantidades enumeradas de fluidos que varían en concentración desde 6 a 75 g/100 ml.

Recomendaciones Específicas

En general se recomienda que durante eventos deportivos que provocan fatiga debido a la depleción de carbohidratos, se consuman aproximadamente 30-60 g de carbohidratos altamente glucémicos, durante cada hora, desde el comienzo del ejercicio. Debido a que lo más común es el suministro de líquidos, el volumen y concentración apropiados de las soluciones de glucosa, sucrosa, maltodextrina o almíbares de maíz, deberían estar disponibles de acuerdo a las circunstancias, preferencias, y necesidades para la reposición de fluidos. Si las circunstancias no permiten una ingesta de carbohidratos a lo largo de un ejercicio continuo, la performance también puede ser mejorada consumiendo una gran cantidad (100 g) de carbohidrato concentrado (20-75%), al menos 30 minutos antes de la fatiga. (Debido a que las recomendaciones en este artículo fueron hechas para una persona que pese 70 kg, su aplicación para personas con menor o mayor peso deberá ser calculada como se explica en la introducción).

REFERENCIAS

- Ahlborg, G. and Felig, P (1976). Influence of glucose ingestion on the fuel-hormone responses during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 41, 683-8
- Ahlborg, G. and Bjorkman, O (1987). Carbohydrate utilization by exercising muscle following preexercise glucose ingestion. *Clinical Physiology*, 7, 181-95
- Behall, K.M., Scholfield, B.J. and Canary, J (1988). Effect of starch structure on glucose and insulin responses in adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 47, 428-32
- Bergstrom, J. and Hultman, E (1996). The effect of exercise on muscle glycogen and electrolytes in normals. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 18, 16-20
- Bjorkman, O., Sahling, K., Hagenfeldt, L. and Wahren, J (1984). Influence of glucose and fructose ingestion on the capacity for long-term exercise in well trained men. *Clinical Physiology*, 4, 483-94
- Blom, P.C., Hostmark, A.T., Vaage, O., Vardal, K.R. and Maehlun, S (1987). Effect of different postexercise sugar diets on the rate of muscle glycogen synthesis. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, 491-6
- Bourey, R.E., Coggan, A.R., Kohrt, W.M., Kirwan, J.P., King, D.S. and Holloszy, J.O (1990). Of exercise on glucose disposal: response to a maximal insulin stimulus. *Journal of Applied Physiology*, 69, 1689-94
- Brewer, J., Williams, C. and Patton, H (1988). The influence of high carbohydrate diets on endurance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 698-706
- Brouns, F., Saris, W.H.M. and Beckers, E (1989). Metabolic changes induced by sustained exhaustive cycling and diet manipulation. *International Journal of Sports Medicine*, 10, S 49-S 62
- Brouns, F., Rehrer, N.J., Saris, W.H.M., Beckers, E., Menheere, E. and ten Hoor, F (1989). Effect of carbohydrate intake during warming up on the regulation of blood glucose during exercise. *International Journal of Sports Medicine*, 10, 568-75
- Coggan, A.R. and Coyle, E.F (1987). Reversal of fatigue during prolonged exercise by carbohydrate infusion or ingestion. *Journal of Applied Physiology*, 63, 2388-95
- Coggan, A.R. and Coyle, E.F (1988). Effect of carbohydrate feedings during high-intensity exercise. *Journal of Applied Physiology*, 65, 1703-9
- Coggan, A.R. and Coyle, E.F (1989). Metabolism and performance following carbohydrate ingestion late in exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 59-65
- Coggan, A.R (1991). Plasma glucose metabolism during exercise in humans. *Sports Medicine*. (in press)
- Constable, S.H., Young, J.C., Higuchi, M. and Holloszy, J.O (1984). Glycogen resynthesis in leg muscles of rats during exercise.

16. Costill, D.L., Coyle, E.F., Dalsky, G., Evans, W., Fink, W. and Hoopes, D (1977). Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *Journal of Applied Physiology*, 43, 695-9
17. Costill, D.L., Sherman, W.M., Fink, W.J., Maresh, C., Witten, M. and Miller, J.M (1981). The role of dietary carbohydrates in muscle glycogen resynthesis after strenuous running. *American Journal of Clinical Nutrition*, 34, 1831-6
18. Costill, D.L., Flynn, M.G., Kirwan, J.P., Houmard, J.A., Mitchell, J.B., Thomas, R. and Park, S.H (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, 249-54
19. Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hemmert, M.K., Lowe, R.C. and Walters, T.J (1985). Substrate usage during prolonged exercise following a pre-exercise meal. *Journal of Applied Physiology*, 59, 429-33
20. Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hemmert, M.K. and Ivy, J.L (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *Journal of Applied Physiology*, 61, 165-72
21. Coyle, E.F., Hagberg, J.M., Hurley, B.F., Martin, W.H., Ehsani, A.A. and Holloszy, J.O (1983). Carbohydrate feedings during prolonged strenuous exercise can delay fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 55, 230-5
22. Crapo, P.A., Reavan, G. and Olefsky, J (1977). Postprandial plasma glucose and insulin responses to different complex carbohydrates. *Diabetes*, 26 (12), 1178-83
23. Davis, J.M., Burgess, W.A., Slentz, C.A., Barroli, W.P. and Pate, R.R (1988). Effects of ingesting 6% and 12% glucose-electrolytes beverages during prolonged intermittent cycling exercise in the heat. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 563-9
24. Devlin, J.T., Calles-Escandon, J. and Horton, E.S (1986). Effects of pre-exercise snack feeding on endurance cycle exercise. *Journal of Applied Physiology*, 60, 980-5
25. Ericksson, E., Hygaard, E. and Saltin, B (1977). Physiological demands in downhill skiing. *The Physician and Sportsmedicine*, 12, 35-39
26. Fielding, R.A., Costill, D.L., Fink, W.J., King, D.S., Hargreaves, M. and Kovaleski, J.E (1985). Effect of carbohydrate feeding frequency and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 472-6
27. Fielding, R.A., Costill, D.L., Fink, W.J., King, D.S., Hargreaves, M. and Kovaleski, J.E (1985). Effect of carbohydrate feeding frequency and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 472-6
28. Fielding, R.A., Costill, D.L., Fink, W.J., King, D.S., Kovaleski, J.E. and Kirwan, J.P (1987). Effects of pre-exercise carbohydrate feedings on muscle glycogen use during exercise in well-trained runners. *European Journal of Applied Physiology*, 56, 225-9
29. Flynn, M.G., Costill, D.L., Hawley, J.A. et al (1987). Influence of selected carbohydrate drinks on cycling performance and glycogen use. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, 37-40
30. Foster, C., Costill, D.L. and Fink, W.J (1979). Effects of pre-exercise feedings on endurance performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, II, 1-5
31. Foster, C., Thompson, N., Dean, J. and Kirkendall, D (1986). Carbohydrate supplementation and performance in soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, S12
32. Foster, C., Costill, D.L. and Fink, W.J (1980). Gastric emptying characteristics of glucose and glucose polymer solutions. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 51, 299-305
33. Gatti, E., Testolin, G., Nose, D., Brighenti, F., Buzzetti, G.P., Porrino, M. and Sirtori, C.R (1987). Plasma glucose and insulin responses to carbohydrate food (rice) with different thermal processing. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 31, 296-303
34. Gleeson, M., Maughan, R.J. and Greenhaff, P.L (1986). Comparison of the effects of pre-exercise feedings of glucose, glycerol and placebo on endurance and fuel homeostasis in man. *European Journal of Applied Physiology*, 55, 645-53
35. Goddard, M.S., Young, G. and Marcus, R (1984). The effect of amylose content on insulin and glucose responses to ingested rice. *American Journal of Clinical Nutrition*, 39, 388-92
36. Guezennec, C.Y., Satabin, P., Duforez, F., Merino, D., Peronnet, F. and Koziat, J (1989). Oxidation of corn starch, glucose, and fructose ingested before exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 45-50
37. Hargreaves, M., Costill, D.L., Fink, W.J., King, D.S. and Fielding, R.A (1987). Effect of pre-exercise carbohydrate feedings on endurance cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, 33-6
38. Hargreaves, M., Costill, D.L., Katz, A. and Fink, W.J (1985). Effect of fructose ingestion on muscle glycogen usage during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 360-3
39. Hargreaves, M. and Briggs, C.A (1988). Effect of carbohydrate ingestion on exercise metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 65, 1553-5
40. Ivy, J.L., Lee, M.C., Brozinick Jr, J.T. and Reed, M.J (1988). Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *Journal of Applied Physiology*, 65, 2018-23
41. Ivy, J.L., Katz, A.L., Cutler, C.L., Sherman, W. M. and Coyle, E.F (1988). Muscle glycogen synthesis after exercise: effect of time of carbohydrate ingestion. *Journal of Applied Physiology*, 65, 1480-5
42. Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Jenkins, A.L., Josse, R.G. and Wong, G.S (1984). The glycaemic response to carbohydrate foods. *Lancet*, 2, 388-91
43. Jenkins, D.J.A., Wolever, T.M.S., Buckley, G., Lam, K.Y., Giudici, S., Kalmusky, J., Jenkins, A.L., Patten, R.L., Bird, J., Wong, G.S. and Josse, R.G (1988). Low glycemic index starchy foods in the diabetic diet. *American Journal of Clinical Nutrition*, 48, 248-54
44. Kiens, B., Raben, A.B., Valeur, A.K. and Richter, E.A (1990). Benefit of dietary simple carbohydrates on the early post-exercise muscle glycogen repletion in male athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 588
45. Keizer, H., Kuipers, A.H., van Kranenburg, G. and Geurten, P (1986). Influence of liquid and solid meals on muscle glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *International Journal of Sports Medicine*, 8, 99-104
46. Keller, K.R., and Schwarzkopf, A (1984). Pre-exercise snacks may decrease exercise performance. *Physician and Sportsmedicine*,

47. Kirwan, J.P., Costill, D.L., Mitchell, J.B., Houmard, J.A., Glynn, M.G., Fink, W.J. and Beltz, J.D (1988). Carbohydrate balance in competitive runners during successive days of intense training. *Journal of Applied Physiology*, 65, 2601-6
48. Koivvisto, V.A., Harkonen, M., Karonen, S., Groop, P.H., Elovainio, R.A., Ferrannini, E. and DeFronzo, R.A (1985). Glycogen depletion during prolonged exercise: influence of glucose, fructose or placebo. *Journal of Applied Physiology*, 58, 7341-737
49. Kuipers, H., Keizer, H.A., Brouns, F. and Saris, W.H.M (1987). Carbohydrate feeding and glycogen synthesis during exercise in man. *Pflugers Archives (European Journal of Physiology)*, 410, 652-6
50. Kuipers, H., Saris, W.H.M., Brouns, F. and ten Bosch, C (1989). Glycogen synthesis during exercise and rest with carbohydrate feeding in males and females. *International Journal of Sports Medicine*, 10, S 63-S 67
51. Levine, L., Evans, W.J., Cadarette, B.S., Fisher, E.C. and Bullen, B.A (1983). Fructose and glucose ingestion and muscle glycogen use during submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 55, 1767-71
52. Maughan, R (1990). Effects of diet composition on the performance of high intensity exercises. In *Nutrition et Sport (edited by H. Monod) pp. 200-11. Paris: Masson*
53. Maughan, R.J., Fenn, C.E. and Leiper, L.B (1989). Effects of fluid, electrolyte and substrate ingestion on endurance capacity. *European Journal of Applied Physiology*, 58, 481-6
54. Massicotte, D., Peronnet, F., Brisson, G., Bakkouch, K. and Killiare-Marcel, C (1989). Oxidation of a glucose polymer during exercise: comparison of glucose and fructose. *Journal of Applied Physiology*, 66, 179-83
55. McMurray, R.G., Wilson, J.R., Kitchell, B.S (1983). The effects of fructose and glucose on high intensity endurance performance. *Research quarterly*, 54, 156-62
56. Mitchell, J.B., Costill, D.L., Houmard, J.A., Fink, W.J., Pascoe, D.D. and Pearson, D.R (1989). Influence of carbohydrate dosage on exercise performance and glycogen metabolism. *Journal of Applied Physiology*, 67, 1843-9
57. Mitchell, J.B., Costill, D.L., Houmard, J.A., Fink, W.J., Robergs, R.A. and Davis, J.A (1989). Gastric emptying: influence of prolonged exercise and carbohydrate concentration. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 269-74
58. Montain, S.J., Hopper, M.K., Coggan, A.R. and Coyle, E.F (1991). Exercise metabolism at different time intervals following a meal. *Journal of Applied Physiology*, 70 (in press)
59. Mourot, J., Thouvenot, P., Couet, C., Antoine, J.N., Krobicka, A. and Debry, G (1988). Relationship between the rate of gastric emptying and glucose and insulin responses to starchy foods in young healthy adults. *American Journal of Clinical Nutrition*, 48, 1035-40
60. Murray, R., Eddy, D.E., Murray, T.W., Seifert, J.G., Paul, G.L. and Halaby, G.A (1987). The effect of fluid and carbohydrate feedings during intermittent cycling exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 19, 597-604
61. Murray, R., Seifert, J.G., Eddy, D.E., Paul, G.L. and Halaby, G.A (1989). Carbohydrate feeding and exercise: effect of beverage carbohydrate content. *European Journal of Applied Physiology*, 59, 152-8
62. Murray, R., Paul, G.L., Seifert, J.G., Eddy, D.E. and Halaby, G.A (1989). The effects of glucose, fructose, and sucrose ingestion during exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 275-82
63. Muckle, D.S (1973). Glucose syrup ingestion and team performance in soccer. *British Journal of Sports Medicine*, 7, 340-3
64. Neuffer, P.D., Costill, D.L., Fink, W.J., Kirwan, J.P., Fielding, R.A. and Flynn, M.G (1986). Effects of exercise and carbohydrate composition on gastric emptying. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 658-62
65. Neuffer, P.D., Costill, D.L., Flynn, M.G., Kirwan, J.P., Mitchell, J.B. and Houmard, J (1987). Improvements in exercise performance: effects of carbohydrate feedings and diet. *Journal of Applied Physiology*, 63, 983-8
66. Noakes, T.F., Lambert, E.V., Lambert, M.I., McArthur, P.S., Myburgh, K.H. and Benade, A.J.S (1988). Carbohydrate ingestion and muscle glycogen depletion during marathon and ultramarathon racing. *European Journal of Applied Physiology*, 57, 482-9
67. Okano, G., Takeda, H., Morita, I., Katoh, M., Mu, Z. and Miyake, S (1988). Effect of pre-exercise fructose ingestion on endurance performance in fed men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20, 105-9
68. Owen, M.D., Kregel, K.C., Wall, P.T. and Gisolfi, C.V (1986). Effects of ingesting carbohydrate beverages during exercise in the heat. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 18, 568-75
69. Reed, M.J., Broznlack, J.T. Jr, Lee, M.C. and Ivy, J.L (1989). Muscle glycogen storage postexercise: Effect on mode of carbohydrate administration. *Journal of Applied Physiology*, 66, 720-6
70. Sherman, W.M., Brodowicz, G., Wright, D.A., Allen, W.K., Simonsen, J. and Dernbach, A (1989). Effects of 4h pre-exercise carbohydrate feedings on cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 598-604
71. Sherman, W.M., Costill, D.L., Fink, W.J. and Miller, J.M (1981). The effect of exercise and diet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *International Journal of Sports Medicine*, 2, 114-18
72. Simard, C., Tremblay, A. and Jobin, M (1988). Effects of carbohydrate intake before and during and ice hockey match on blood and muscle energy substrates. *Research Quarterly in Exercise and Sport*, 59, 144-7
73. Slentz, C.A., Davis, J.M., Settles, D.L., Pate, R.R. and Settles, S.J (1990). Glucose feedings and exercise in rats: glycogen use, hormone responses, and performance. *Journal of Applied Physiology*, 69, 989-94
74. Williams, C., Nute, M.G., Broadbank, L. and Vinall, S (1990). Influence of fluid intake on endurance running performance. A comparison Between water, glucose and fructose solutions. *European Journal of Applied Physiology*, 60, 112-19
75. Wright, D.A. and Sherman, W.M (1989). Carbohydrate feedings 3h before and during exercise improve cycling performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, S 58
76. Wursch, P., Del Vedovo, S. and Koellreutter, B (1986). Cell structure and starch nature as key determinants of the digestion rate of starch in legume. *American Journal of Clinical Nutrition*, 433, 25-9

Cita Original

Edward F. Coyle. Elección del Tiempo y Método del Aumento de la Ingesta de Carbohidratos para hacer frente al Entrenamiento Intenso, la Competencia, y la Recuperación. *Journal of Sports Sciences*, 9, pp. 29-52, 1991.