



MANIPULACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE CARBOHIDRATOS PARA PROMOVER LA ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO.

John A. Hawley | Facultad de Ciencias de la Salud | Universidad Católica Australiana | Melbourne | Australia | Instituto de Investigación de Ciencias del Deporte y del Ejercicio | Universidad de Liverpool John Moores | Reino Unido

PUNTOS CLAVE

- Las interacciones ejercicio-nutriente promueven o inhiben las actividades de una serie de vías de señalización celular y pueden modular la adaptación al entrenamiento.
- La manipulación de la disponibilidad de carbohidratos (CHO) es una práctica común para los atletas que entrenan en los deportes basados en la resistencia.
- La baja disponibilidad de CHO se puede lograr mediante el consumo de una dieta crónicamente baja en CHO, a través de sesiones de entrenamiento dos veces al día en las cuales los CHO se retiran entre los entrenamientos, mediante ayuno de toda la noche, con entrenamiento prolongado y la restricción o el aplazamiento de la ingesta de CHO durante la sesión, o bien, retrasando la ingesta de CHO durante la recuperación de un entrenamiento de resistencia.
- Independientemente del nivel de entrenamiento previo, los programas de entrenamiento a corto plazo en los cuales hasta la mitad de los entrenamientos prescritos se inician ya sea con bajos niveles de glucógeno muscular y/o con baja disponibilidad de CHO aumentan las adaptaciones al entrenamiento de la misma forma o en mayor medida que cuando entrenamientos similares se llevan a cabo con reservas normales de glucógeno.
- No hay evidencia clara de que las estrategias actuales de “entrenar bajo” aumenten la capacidad para llevar a cabo entrenamiento de alta intensidad o mejorar el rendimiento atlético.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de trabajo físico y la disponibilidad de carbohidratos (CHO) están altamente interrelacionadas, y actualmente se acepta que la adaptación óptima a las demandas de las sesiones de entrenamiento basadas en resistencia repetida requieren una dieta que pueda reponer las reservas de energía muscular diariamente. En consecuencia, los fisiólogos del ejercicio y nutricionistas deportivos típicamente recomiendan que cuando se entrene para eventos en los cuales los combustibles basados en CHO (es decir, glucógeno muscular y hepático, glucosa sanguínea y lactato muscular y hepático) son los que se metabolizan más fuertemente, los atletas deben consumir una dieta alta en CHO (Burke et al., 2011). Mientras que la premisa de que la alta disponibilidad de CHO promueve la óptima respuesta al entrenamiento ha ganado aceptación, hay que señalar que algunos estudios han manipulado sistemáticamente la ingesta dietética en atletas bien entrenados durante toda una temporada competitiva y han examinado el efecto en respuestas / adaptaciones al entrenamiento y en el rendimiento. Además, la premisa de que la alta disponibilidad de CHO es esencial para promover una respuesta superior al entrenamiento presupone que un superávit en lugar de una falta de sustrato es el principal “conductor” para la remodelación del músculo esquelético y la adaptación. Respecto a esto, Chakravarthy y Booth (2004) propusieron que un “ciclo” de las reservas de glucógeno muscular puede ser deseable para promover una respuesta / adaptación óptima al entrenamiento. Hansen y sus colegas (2005) fueron los primeros en proponer que el comenzar deliberadamente algunas sesiones seleccionadas de entrenamiento con bajas concentraciones de glucógeno muscular mejoraría la adaptación al entrenamiento a una mayor magnitud que el entrenamiento con disponibilidad normal (o alta) de glucógeno. Esta revisión proporciona un resumen de cómo las adaptaciones de respuesta al entrenamiento pueden ser modificadas por la disponibilidad de CHO. Varias estrategias para alterar el contenido de CHO son discutidas y los resultados de los estudios contemporáneos que han determinado los efectos de la manipulación de la disponibilidad de CHO en la adaptación en entrenamientos de resistencia y se examinó la capacidad de ejercicio. Se pueden encontrar revisiones completas de estos temas en otros lugares (Hawley y Burke, 2010; Hawley et al, 2011; Hawley y Morton, 2014; Philip et al., 2012).

MODULACIÓN DIETÉTICA DE ADAPTACIÓN AL ENTRENAMIENTO “ENTRENAMIENTO BAJO”

Durante la última década, los avances en biología molecular han permitido a los científicos del ejercicio determinar cómo los programas de entrenamientos basados en resistencia promueven importantes adaptaciones en el músculo esquelético que resultan en la biogénesis mitocondrial y en un aumento concomitante en la capacidad de ejercicio. Como resultado de una mayor comprensión de las bases moleculares de la adaptación al entrenamiento, el interés reciente se ha centrado en cómo la disponibilidad de nutrientes podría modificar la regulación de muchos de los eventos inducidos por la contracción en el músculo en respuesta al ejercicio basado en resistencia (Hawley et al, 2011). Las interacciones nutriente – genes y nutriente – proteína pueden promover o inhibir las actividades de una serie de vías de señalización celular y, por lo tanto, tienen el potencial de modular la adaptación al entrenamiento y la capacidad de rendimiento subsecuente.

Hansen et al. (2005) primero tuvo la hipótesis de que el comenzar un ejercicio basado en resistencia con baja disponibilidad de glucógeno promovería una mayor adaptación al entrenamiento en comparación a cuando los mismos entrenamientos se llevaron a cabo con reservas de glucógeno muscular normales. Esta noción parece estar en conflicto con la antigua creencia de que los atletas que llevan a cabo programas de entrenamiento de ejercicio de resistencia intensos y prolongados deberían consumir una dieta alta en CHO en todo momento. Sin embargo ha habido modificaciones sutiles a las guías de nutrición deportiva en relación la ingesta de CHO en la dieta de los atletas (Burke, 2010). En lugar de promover una ingesta alta de CHO para todos los atletas, las directrices actuales promueven una escala móvil de la ingesta de CHO con el objetivo de hacer coincidir los costos energéticos estimados del entrenamiento y de la recuperación del atleta (Burke 2010; Burke et al., 2011). Esta recomendación se basa en la justificación de que las sesiones de entrenamiento intensas y prolongadas, deben seguir llevándose a cabo con alta disponibilidad de CHO pero que algunas sesiones (de baja intensidad, basadas en habilidades) pueden realizarse con menor aporte de combustibles a partir del glucógeno muscular y de otros combustibles a base de CHO. En realidad, es poco probable que los atletas de resistencia competitivos comiencen cada sesión de entrenamiento con alta disponibilidad de CHO. Sin embargo, el cambiar la recomendación de una alta ingesta de CHO todo el tiempo ha también creado confusión entre algunos entrenadores y atletas.

“Entrenar bajo” se ha convertido en un eslogan común tanto en los círculos atléticos como en la literatura científica que se utiliza para describir un tema que incluye una gran cantidad de (diferentes) practicas o como un genérico o una “talla única para todos” promovido como un reemplazo para la era de la “dieta alta en CHO” en el deporte. Hay varias maneras de lograr una baja disponibilidad de CHO antes, durante y después de las sesiones de entrenamiento que difieren en el sitio de bajo estatus de CHO (es decir, el glucógeno endógeno frente al exógeno o la disponibilidad de la glucosa sanguínea), en la duración de la exposición a una intervención dietética en torno al ejercicio, el número de tejidos afectados (es decir, músculo, hígado) así como la frecuencia y el momento de su incorporación al programa de entrenamiento periodizado del atleta (Tabla 1).

Tabla 1: Estrategias dietéticas relacionadas al ejercicio para modificar la disponibilidad de carbohidratos (CHO).

Estrategia dieta - ejercicio	Principales efectos
<p><i>Atletas que consumen crónicamente una dieta baja en CHO</i></p> <p>Ingesta de CHO menor que los requerimientos energéticos para las sesiones diarias de entrenamiento.</p>	<p>Baja disponibilidad de CHO (fuentes endógenas y potencialmente exógenas) para todas las sesiones de entrenamiento, dependiendo del grado de desajuste de combustible.</p> <p>Posibles efectos negativos en el sistema inmune y en el sistema nervioso central (SNC).</p>
<p><i>Sesiones múltiples de entrenamiento diariamente</i></p> <p>Disponibilidad baja de glucógeno inducida por el ejercicio para la segunda/tercera sesión mediante la limitación de la ingesta de CHO durante la recuperación de la primera sesión.</p>	<p>Reducción de la disponibilidad de CHO endógenos y exógenos por los músculos que se contraen durante la segunda sesión de entrenamiento.</p> <p>Reducción aguda en la disponibilidad de CHO para el sistema inmune y para el SNC dependiendo de la duración de la restricción de CHO y de los requerimientos energéticos del músculo en la segunda sesión.</p>
<p><i>Iniciar el entrenamiento después de una noche de ayuno</i></p>	<p>Reducción de la disponibilidad de CHO exógeno para el músculo para la sesión específica.</p> <p>Reducción potencial de la disponibilidad endógena de CHO si hay una restauración inadecuada de glucógeno del entrenamiento del día anterior.</p> <p>Reducción aguda en la disponibilidad de CHO para el sistema inmune y el SNC dependiendo de la duración de la restricción de CHO y de los requerimientos energéticos de la sesión</p>
<p><i>Entrenamiento prolongado con o sin una noche de ayuno y/o restringiendo/retrasando la ingesta de CHO durante la sesión</i></p>	<p>Reducción en las fuentes de CHO exógenas para los músculos que se contraen para la sesión específica.</p> <p>Reducción aguda en la disponibilidad de CHO para el sistema inmune y para el SNC dependiendo de la duración de la restricción de CHO y de los requerimientos energéticos de la sesión</p>
<p><i>Retraso de los carbohidratos durante las primeras horas de recuperación</i></p>	<p>Podría proporcionar una disponibilidad adecuada de combustible para la sesión, pero restringe la disponibilidad para las actividades de señalización después del ejercicio.</p>
<p><i>“Entrena fuerte” – “Duerme bajo”</i></p> <p>Llevando a cabo una sesión intensa de entrenamiento para reducir el glucógeno en la noche, ir a dormir en ayuno (es decir, con baja disponibilidad de CHO exógenos).</p>	<p>Reducción en la disponibilidad de CHO exógenos para los músculos para la sesión de entrenamiento del siguiente día, resultando en un entrenamiento de baja intensidad.</p> <p>Efectos en el SNC (es decir, hipoglicemia).</p>

Adaptado de Hawley y Burke (2010).

Como se ha señalado, el estudio original que marcó el término “entrenar bajo” y que de hecho, es la primera investigación moderna de los efectos de la reducción de la disponibilidad del glucógeno muscular en la adaptación al entrenamiento y en el rendimiento, fue llevado a cabo por Hansen et al. (2005). Estos investigadores estudiaron siete hombres no entrenados que completaron un riguroso programa de entrenamiento que consistía en ejercicios de “patada” de pierna/extensor de rodilla 5 días/semana por 10 semanas. Ambas piernas de los sujetos fueron entrenadas acorde a un horario diferente, pero la cantidad total de trabajo realizado por cada pierna fue la misma: una pierna entrenada dos veces al día, cada dos días (BAJA), en la cual la segunda sesión de entrenamiento comenzó con bajo contenido de glucógeno, mientras que la otra pierna fue entrenada diariamente (ALTA) bajo condiciones de alta disponibilidad de glucógeno. Las biopsias musculares tomadas de ambas piernas antes y después del régimen de entrenamiento revelaron que contenido de glucógeno del músculo en reposo fue similar en ambas piernas antes de la intervención pero se aumentó en la pierna que entrenó (BAJA) después de 10 semanas. Hubo un aumento inducido por el entrenamiento en las actividades máximas de citrasa sintasa y de β -hidroxiacil – CoA deshidrogenasa (β -HAD) en ambas piernas, pero la magnitud del aumento fue mayor en BAJA que en ALTA. El rendimiento del ejercicio (es decir, el tiempo hasta el agotamiento durante el trabajo de una sola pierna al 90% de la máxima potencia producida post-entrenamiento) fue dos veces mayor para BAJA y para ALTA después del entrenamiento. Los resultados de Hansen et al. (2005) demostraron claramente que en individuos previamente desentrenados, la adaptación se ve aumentada al iniciar una parte (50%) de las sesiones de entrenamiento con baja disponibilidad de glucógeno, al menos para las primeras 10 semanas de una intervención consistente en un programa de entrenamiento a corto plazo. Si bien los hallazgos (Hansen et al., 2005) fueron intrigantes y recibieron mucha cobertura en la prensa, no estaba claro si los atletas con una historia de entrenamiento de resistencia lograrían el mismo beneficio como los individuos no entrenados, sujetos con menor condición que inician un programa de ejercicio y entrenando con baja disponibilidad de glucógeno muscular. Además la carga de entrenamiento en el estudio fue “restringida” de tal manera que tanto la pierna BAJA como la pierna ALTA trabajaran a la misma intensidad: por lo tanto la pierna BAJA estableció el “límite superior” de la carga de trabajo que debía realizar la pierna ALTA. En un entorno del “mundo real”, un atleta produciría una mayor potencia o velocidades al realizar un entrenamiento basado en la resistencia cuando la disponibilidad de glucógeno fuera alta. Finalmente, fue incierto cómo las mejoras del tiempo hasta el agotamiento en “patada” a una pierna se traduciría (en su caso) a la dinámica de correr o de pedalear de todo el cuerpo.

Yeo et al. (2008) reclutaron ciclistas competitivos masculinos o triatletas con antecedentes de entrenamiento de resistencia (>3 años) y dividieron a los atletas en dos grupos pareados por edad, por el pico del consumo de oxígeno [VO_2 pico] y la historia de entrenamiento. Los atletas completaron tres semanas de entrenamiento supervisado. Un grupo de atletas entrenó 6 días a la semana con un día de descanso, alternando entre 100 minutos de pedaleo aeróbico estacionario (AT ~70-75% del VO_2 pico) en el primer intervalo del día, y el siguiente día entrenamiento de intervalos de alta intensidad (HIT; 8 series x 5 minutos a la potencia máxima autoseleccionada por cada atleta, con 1 minuto de recuperación entre las series) (ALTO). Las sesiones AT y HIT fueron elegidas deliberadamente para que estos entrenamientos agotaran ~50% de los almacenes de glucógeno del músculo en reposo en atletas bien nutridos y entrenados. El otro grupo (BAJO) entrenó dos veces al día, cada dos días, realizando el AT en las mañanas (para disminuir el contenido de glucógeno muscular por ~50%), seguido de 1-2 h de descanso sin ingesta de energía (es decir, sin CHO), y después realizaron HIT a su máxima intensidad autoseleccionada. En consecuencia, ALTO completó todas las sesiones en un momento en el que los niveles de glucógeno se habían restaurado, mientras que BAJO hicieron las sesiones de HIT cuando el glucógeno muscular estaba agotado al 50%.

Los nuevos hallazgos fueron que en el músculo esquelético de los individuos bien entrenados, el contenido de glucógeno muscular en reposo, los niveles de varias enzimas con funciones en la biogénesis mitocondrial y en el metabolismo de los lípidos (es decir, la citrato sintasa, β -HAD, la subunidad IV del componente citocromo oxidasa de la cadena transportadora de electrones), y las tasas de oxidación de grasas de todo el cuerpo durante el ejercicio submáximo se mejoraron en mejor medida mediante el entrenamiento de dos veces cada dos días en comparación con el entrenamiento diario después de la intervención a corto plazo (Yeo et al., 2008). Sorprendentemente, estas adaptaciones se alcanzaron a pesar de la observación de que la potencia máxima autoseleccionada fue significativamente menor (~8%) para las primeras seis sesiones de HIT para los atletas que iniciaron estos entrenamientos con bajo contenido de glucógeno muscular (es decir, las primeras 2 semanas del programa de entrenamiento). En otras palabras, incluso con un entrenamiento de menor "impulso" para los músculos de trabajo, en el entrenamiento BAJO se aumentaron los marcadores de la adaptación muscular encontrados por Yeo et al. (2008) estando en estrecho acuerdo con los hallazgos anteriores de Hansen et al. (2005). Sin embargo, mientras que Hansen et al. (2005) observaron un aumento dramático en el "rendimiento" en el ejercicio después de entrenar bajo, Yeo et al. (2008) encontraron que el resultado de la potencia durante una prueba de pedaleo contrarreloj de 60 minutos se mejoró en la misma magnitud (~11%) si los atletas entrenados estaban en ALTO o en BAJO. La "desconexión" entre algunos de los marcadores "mecanicistas" de adaptación al entrenamiento y los resultados del rendimiento atlético se discuten a continuación.

¿LA CAFÉINA "RESCATA" LOS BAJOS RESULTADOS DE POTENCIA ASOCIADOS CON LA BAJA DISPONIBILIDAD DE CARBOHIDRATOS?

En el estudio de Yeo et al. (2008), los resultados de potencia sustancialmente menores alcanzados al comenzar HIT cuando había baja disponibilidad de glucógeno en comparación con la alta disponibilidad se acoplaron con un aumento significativo en las calificaciones de la escala de percepción del esfuerzo por parte de los atletas. En realidad es poco probable que un atleta competitivo se involucre en un régimen de dieta-ejercicio que reduzca su capacidad para llevar a cabo ejercicio de resistencia de alta intensidad mientras también se siente mal. Una ayuda ergogénica conocida para reducir la percepción al esfuerzo de un individuo, mientras que al mismo tiempo mejora la capacidad de ejercicio, es la cafeína. En consecuencia, Lane et al. (2013) determinaron si una dosis baja de cafeína podría "rescatar" la reducción de la potencia máxima autoseleccionada observada cuando los individuos iniciaron HIT con baja disponibilidad de glucógeno en comparación a cuando los valores eran normales. En su estudio, 12 ciclistas o triatletas bien entrenados realizaron cuatro pruebas experimentales en las cuales el contenido de glucógeno fue manipulado a través de intervenciones de ejercicio-dieta para que dos pruebas iniciaran con BAJA y dos pruebas con ALTA disponibilidad de glucógeno (Lane et al. 2013). Antes de todas las pruebas experimentales, los sujetos ingirieron cafeína (3 mg/kg de peso corporal (PC)) o placebo. Se instruyó a los atletas para producir su máxima potencia autoseleccionada durante una sesión HIT estandarizada (descrita anteriormente). En concordancia con los hallazgos anteriores de Yeo et al. (2008) al iniciar HIT con baja disponibilidad de glucógeno se redujo la máxima potencia autoseleccionada en un ~8% en comparación con ALTA. La cafeína aumentó el resultado de la potencia independientemente de la concentración de glucógeno muscular (2.8% y 3.5% para BAJO y para NORM, respectivamente) pero no pudo restaurar por completo los resultados de potencia a los mismos niveles que cuando los sujetos iniciaron el ejercicio con una alta disponibilidad de glucógeno.

EFFECTOS DE "ENTRENA FUERTE, DUERME BAJO"

El protocolo original de "entrena bajo" abogó por sesiones de entrenamiento dos veces al día en los cuales la segunda sesión de ejercicio se llevaba a cabo con una baja disponibilidad de glucógeno (Hansen et al. 2005). Como se discutió, un resultado directo de esta estrategia fue que la intensidad máxima autoseleccionada de entrenamiento de la segunda sesión fue sustancialmente reducida cuando se comenzó con niveles bajos de glucógeno en comparación a cuando se inició con niveles normales (o elevados) (Hulston et al., 2010; Yeo et al., 2008). Tal resultado es contrario a la intuición para la preparación de atletas competitivos donde entrenamientos de alta intensidad son un componente crítico de cualquier programa de entrenamiento periodizado (Hawley 2013). Un enfoque alternativo para prolongar la duración de la baja disponibilidad de CHO y potencialmente mejorar y ampliar el periodo de tiempo de la activación transcripcional de genes metabólicos y sus proteínas diana, mientras que al mismo tiempo se conserva el "impulso" del entrenamiento en los músculos de trabajo (ver Figura 1), es tener a un atleta en entrenamiento fuerte y después sueño bajo ("entrena fuerte, duerme bajo"). En este modelo, un atleta comenzaría una sesión de HIT en la tarde con alta disponibilidad de glucógeno, luego iría a la cama en ayuno, antes de iniciar un entrenamiento submáximo prolongado en la mañana siguiente y luego volver a alimentarse. Al retrasar la ingesta de energía (es decir, CHO) y extender la duración, un individuo en un estado de glucógeno bajo, puede aumentar el proceso de la adaptación inducida por la dieta al retrasar la resíntesis de glucógeno muscular (y hepático) y regular varias vías metabólicas clave de señalización involucradas en biogénesis mitocondrial y en el metabolismo de lípidos, en comparación a cuando los individuos siguen las guías de nutrición deportiva (es decir, alta disponibilidad de CHO después del ejercicio).

Actualmente, varios laboratorios están llevando a cabo estudios utilizando diversas modificaciones del modelo "entrena fuerte, duerme bajo" (por ejemplo, retrasando la ingestión de CHO después del ejercicio de la noche, reemplazando las comidas basadas en CHO por alimentos ricos en proteínas, el ayuno durante la noche, etc.) y los atletas, entrenadores y científicos del deporte, esperan los resultados de las investigaciones con interés.

Figura 1.

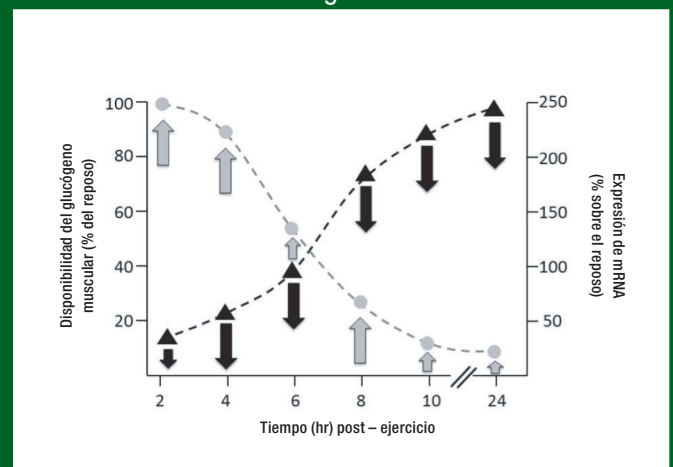


Figura 1: Diagrama esquemático de la evolución temporal de la expresión de mRNA de los genes "sensibles al ejercicio y a nutrientes" con papeles en la adaptación al entrenamiento de resistencia (círculos grises) y la resíntesis de las reservas de glucógeno muscular (triángulos negros) después de una sesión de ejercicio de depleción de glucógeno. La activación de muchos genes sensibles al ejercicio y/o a nutrientes se eleva en las primeras 1-4 h de recuperación después del ejercicio y vuelven a los niveles de reposo 24 h después. Retrasar el aporte de carbohidratos y la restauración del glucógeno muscular puede regular y prolongar el tiempo de activación transcripcional de estos genes después del ejercicio, promoviendo así una mayor respuesta de adaptación al entrenamiento (ver texto para la discusión). Adaptado y redibujado de Hawley (2013).

Por supuesto, bien podría ser que las perturbaciones en el medio ambiente celular inducidas por iniciar las sesiones de entrenamiento con baja disponibilidad de glucógeno promuevan la señalización mejorada y apuntalen el proceso superior de adaptación. Como tal, los intentos para minimizar o aliviar esas condiciones podrían anular los beneficios asociados con el entrenamiento con bajo glucógeno. De cualquier manera, los resultados de Hansen et al. (2005) y Yeo et al. (2008) demuestran que, independientemente de la condición del entrenamiento previo, el entrenamiento a corto plazo (3-10 semanas) en el que una parte (~50%) de las sesiones se comiencen con niveles bajos de glucógeno muscular promueve adaptaciones al entrenamiento (es decir, incrementa las actividades de las enzimas involucradas en el metabolismo energético y en la biogénesis mitocondrial) en mayor medida que cuando todos los entrenamientos se llevan a cabo con niveles de glucógeno normales o elevados. Sin embargo, a pesar de la creación de condiciones que, en teoría, mejoran la capacidad de ejercicio, los efectos de esta estrategia de "entrena bajo" fueron equívocos en una serie de medidas de rendimiento (discutido abajo).

ALTERACIÓN DE LA DISPONIBILIDAD DE CARBOHIDRATOS EXÓGENOS

La manipulación de las reservas de glucógeno muscular (y hepático) no es la única forma de alterar la disponibilidad de CHO antes, durante o después del entrenamiento (Tabla 1). Otra estrategia para alterar la disponibilidad de CHO es alterar el aporte exógeno o la glucosa en sangre. Akerstrom et al. (2009) estudió los efectos de la disponibilidad alterada de la glucosa exógena durante un programa de entrenamiento de 10 semanas de extensor de rodilla a una sola pierna. Los sujetos masculinos entrenaron una pierna mientras ingerían una solución de glucosa 6 g/100 mL (para una ingesta de 0.7 g CHO/kg de peso corporal/h) e ingerían un placebo cuando entrenaban la otra pierna. El entrenamiento consistió en 2 h de "patada" submáxima con cada pierna siendo entrenadas en días alternos. Mientras que aquí fueron incrementos inducidos por el entrenamiento en las actividades máximas de ambas enzimas oxidativa y lipolítica (citrato sintasa y β -HAD, medidas derivadas de marcadores del recambio de lípidos y de la capacidad del ejercicio en ambas piernas, la magnitud de las mejoras fue similar e independiente de la disponibilidad de CHO exógenos. De Bock et al. (2008) también investigaron si la adaptación muscular al ejercicio era afectada por el estado nutricional durante las sesiones de entrenamiento. Deportistas varones acondicionados de nivel recreativo llevaron a cabo un programa de entrenamiento de 6 semanas que comprendió 1-2 h/día de pedaleo en bicicleta al 75% del pico del VO_2 , por 3 días/semana, durante dichos entrenamientos se inició en un estado de ayuno o 90 minutos después de un desayuno rico en CHO y una suplementación adicional con CHO (1 g/kg de peso corporal/h) durante todo el ejercicio. De acuerdo con los resultados de Akerstrom et al. (2009), una variedad de marcadores metabólicos (incluyendo la actividad de la succinato deshidrogenasa, GLUT 4 y el contenido de hexoquinasa II) se incrementaron en un grado similar con o sin suplemento de CHO. A pesar de un aumento significativo en la proteína de unión de ácidos grasos después de un entrenamiento "en ayuno", las tasas de oxidación de grasas durante ejercicio submáximo no fueron alteradas por ninguna de las intervenciones de entrenamiento. Los resultados de estos estudios sugieren que las adaptaciones importantes al entrenamiento de resistencia no se ven aumentadas por la reducción de la disponibilidad de CHO exógenos, al menos en individuos moderadamente acondicionados físicamente (Akerstrom et al., 2009; De Bock et al., 2008). Resultados contrastantes fueron reportados por Nybo y colegas (2009) quienes determinaron el efecto de 8 semanas de entrenamiento de resistencia en sujetos previamente desentrenados que consumieron ya sea un placebo endulzado durante los entrenamientos (baja disponibilidad de CHO) o que recibieron una solución al 10% de CHO (alta disponibilidad de CHO). Ellos encontraron que llevar a cabo entrenamiento sin CHO exógenos provocó una mayor potenciación de los incrementos en el glucógeno

muscular en reposo, GLUT 4 y β -HAD. Sin embargo, estas adaptaciones no se tradujeron a resultados funcionales beneficiosos (por ejemplo, rendimiento).

El retraso de CHO durante entrenamientos puede también tener otros efectos negativos sobre los resultados en el rendimiento. Cox et al. (2010) determinaron los efectos de llevar a cabo diariamente entrenamiento de resistencia exhaustivo con ya sea alta o baja disponibilidad de CHO durante un bloque de entrenamiento de un mes de duración. Durante la intervención, 16 atletas entrenados en resistencia fueron alimentados con una dieta estándar moderada en CHO. La mitad de los atletas fueron asignados al azar en un grupo de alta ingesta de CHO (ALTO-CHO) y consumieron una solución de CHO (solución de glucosa al 10% que aportó 25 kJ/kg peso corporal/h de entrenamiento adicionales), mientras que el resto (BAJO-CHO) se les dio un placebo durante el entrenamiento e ingirieron refrigerios ricos en grasas y en proteínas con la misma cantidad de energía después de las sesiones de entrenamiento. Si bien no hubieron efectos claros de si la intervención entrenamiento-dieta en varios de los parámetros metabólicos y el rendimiento deportivo, la oxidación de glucosa exógena del músculo esquelético durante el ejercicio después del periodo de intervención se incrementó solamente en los atletas que entrenaron con CHO (14% vs 1%). Para el atleta competitivo, cualquier deterioro en la capacidad para oxidar los CHO ingeridos sería una desventaja importante en cualquier evento basado en resistencia.

Hasta la fecha, solo un estudio ha examinado los efectos combinados de la manipulación de la disponibilidad del glucógeno muscular endógeno y de la glucosa exógena en adaptación al entrenamiento. En esa investigación, sujetos activos recreativos llevaron a cabo una variedad de diferentes protocolos de entrenamiento (entrenamiento dos veces al día durante 2 días/semana o entrenar diariamente durante 4 días/semana) y manipulaciones de la dieta (con o sin CHO antes y durante el ejercicio) durante una intervención de 6 semanas (Morton et al., 2009). Hubo un incremento inducido por el entrenamiento en el contenido de proteína de varios marcadores de la capacidad muscular oxidativa pero, aparte de una sola enzima, no hubieron diferencias en la magnitud del cambio entre grupos que entrenaron con baja disponibilidad de CHO vs los que entrenaron con alta disponibilidad de CHO. El rendimiento durante ejercicio intermitente de alta intensidad no se mejoró en mayor medida al alterar la disponibilidad de CHO.

ADAPTACIONES DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO VERSUS RENDIMIENTO: UNA FALTA DE CONCORDANCIA

Un tema común y recurrente al examinar los estudios que han manipulado la disponibilidad de CHO y su efecto sobre la adaptación al entrenamiento y al rendimiento es la discrepancia entre los cambios en muchas de las variables celulares "mecanicistas" medidas en el músculo esquelético y los resultados funcionales del cuerpo completo. Hay muchas razones posibles para explicar esta "falta de concordancia", y es probablemente una combinación de varios factores que subyacen a tal disparidad. En primer lugar, podría no existir una relación directa entre el rendimiento deportivo y muchos de los cambios inducidos a nivel celular que ocurren en el músculo en respuesta a las diversas estrategias de "entrena bajo". De hecho, solo porque ahora existen técnicas moleculares para detectar una gran variedad de "marcadores candidatos" celulares, esto no significa que tengan un papel funcional en la explicación de la variabilidad del rendimiento. En efecto, en algunos casos, la variabilidad técnica de algunos ensayos enzimáticos/proteína y/o mediciones de genes excede por mucho los pequeños cambios que se manifiestan como mejoras en el rendimiento. En segundo lugar, los atletas altamente entrenados pueden tener ya maximizadas muchas de las adaptaciones en el músculo y nuevos aumentos en proteínas seleccionadas pueden jugar sólo un papel permisivo (si los hay) en la promoción de la capacidad del ejercicio. De hecho, los niveles absolutos de las proteínas del músculo involucradas en la biogénesis mitocondrial

y/o en el transporte de sustratos, en la absorción y en la oxidación, en y de sí mismas, probablemente no sean un limitante de la tasa para el rendimiento deportivo. La capacidad funcional del músculo esquelético es, por supuesto, solo uno de los determinantes del rendimiento deportivo, que típicamente implica la integración de sistemas de todo el cuerpo, incluyendo el cardiovascular, endócrino y nervioso central.

Una tercera línea de razonamiento para explicar la falta de conexión entre la falta de mejora en los resultados de rendimiento y el aumento de diversos marcadores musculares de la adaptación es que carecemos de las herramientas adecuadas para medir con precisión el rendimiento deportivo en el laboratorio. Muchas carreras de resistencia se ganan por márgenes muy pequeños (<1% generalmente separa a los tres mejores atletas), y en la actualidad, los científicos del ejercicio carecen de capacidad para detectar estos pequeños cambios que valen la pena para un atleta competitivo con el fin de cambiar los resultados en el mundo real de los eventos. Una cuarta posibilidad es que algunas estrategias de “entrena bajo” puedan tener un efecto negativo sobre parámetros relacionados con el rendimiento de un atleta ya sea de forma aguda o a largo plazo, contrarrestando cualquier efecto positivo logrado sobre características musculares aisladas. Por ejemplo, las tasas de oxidación de CHO ingeridos por el músculo se reducen en los atletas que “entrenan bajo” en comparación con aquellos que entrenan con alta disponibilidad de CHO exógenos (Cox et al., 2010), mientras que los incrementos sustanciales en las tasas de oxidación de grasas de todo el cuerpo (Yeo et al., 2008) y del músculo (Hulston et al., 2010) observadas después del entrenamiento con bajo glucógeno podrían no mejorar los eventos de resistencia donde existe una dependencia de los combustibles basados en CHO. Un resultado indirecto de la periodización de la dieta es que puede reducir el estímulo del entrenamiento, especialmente cuando los atletas comienzan entrenamientos de alta intensidad con baja disponibilidad de glucógeno muscular. Un hallazgo común cuando las sesiones de entrenamiento se llevan a cabo con baja disponibilidad de CHO es que los sujetos frecuentemente eligen menor carga de trabajo o intensidad porque perciben que el esfuerzo es mayor, al menos en su exposición inicial al entrenamiento bajo (Yeo et al., 2008). La interferencia con estas sesiones podría perjudicar a otras adaptaciones del entrenamiento como el reclutamiento de las fibras musculares y los patrones de utilización de sustratos. Por último, los estudios que han investigado varias de las estrategias de “entrenamiento bajo” se han llevado a cabo solamente por periodos cortos, con poca o ninguna consideración a integrar las intervenciones experimentales en el ciclo de entrenamiento periodizado competitivo del atleta. Antes de empezar las investigaciones de “entrena bajo” en el laboratorio, se debe aclarar si los atletas exitosos ya han perfeccionado los protocolos óptimos de entrenamiento-nutrientes que mejoran el rendimiento de resistencia.

PONERLO EN PRÁCTICA: CONCLUSIONES Y FUTUROS ESTUDIOS

Las investigaciones que han manipulado la disponibilidad de CHO demuestran que independientemente de la condición previa al entrenamiento, los programas de entrenamiento a corto plazo (3-10 semanas) en los cuales hasta la mitad de todas las sesiones prescritas se comienzan ya sea con niveles bajos de glucógeno y/o con baja disponibilidad de CHO exógenos, aumentan la adaptación al entrenamiento en la misma o en mayor medida que cuando se llevan a cabo entrenamientos similares con reservas normales de glucógeno (para una revisión, ver Hawley & Burke, 2010; Hawley et al., 2011). Ciertamente, no hay casos de adaptación al entrenamiento o al rendimiento siendo deteriorados mediante la realización de un periodo de entrenamiento con baja disponibilidad de CHO. Sin embargo, a pesar de aumentar la respuesta adaptativa del músculo mientras que se reduce concomitantemente la dependencia de los combustibles a base de CHO durante el ejercicio submaximal, no existe evidencia clara de que estas

estrategias mejoran tanto la capacidad de entrenar a mayores tasas de trabajo o velocidades, ni de que mejoren el rendimiento del ejercicio. Ya sea deliberadamente o de forma no planeada (es decir, una falla al consumir CHO adecuadamente entre los entrenamientos) los atletas competitivos de resistencia ciertamente comienzan alguno de sus entrenamientos con lo que podría ser considerado como reservas “sub-óptimas” de CHO. Por lo tanto, cuando estos atletas participan en estudios que típicamente reemplazan un puñado de sesiones de entrenamientos prescritos con sesiones de “entrena bajo”, no es de extrañar que la capacidad de entrenamiento y el rendimiento no se modifiquen: el diseño del estudio se ha limitado meramente a replicar lo que los atletas ya están haciendo en la vida real.

Una consideración importante cuando se habla de las intervenciones de ejercicio-dieta alternativas y que frecuentemente se pasa por alto tanto por fisiólogos del ejercicio como por nutricionistas del deporte, es que en la actualidad carecemos de datos válidos sobre los costos de combustible reales de las sesiones de entrenamiento de resistencia. Parece irrelevante discutir el grado de agotamiento de glucógeno o la disponibilidad restringida de CHO que se necesita para potenciar el efecto de un estímulo de entrenamiento o la cantidad de tiempo que el entrenamiento continuo con bajo CHO debe llevarse a cabo para demostrar cambios en los resultados de entrenamiento y/o rendimiento, cuando en primer lugar, no tenemos ni idea de las demandas de CHO de las sesiones de entrenamiento. Está claro que se necesitan con urgencia los estudios sobre las estrategias de periodización de la dieta a largo plazo, especialmente aquellas que imitan las prácticas de la vida real de los atletas antes de que podamos evaluar realmente los efectos de diversas estrategias de “entrena bajo” en la adaptación al entrenamiento y al rendimiento deportivo.

REFERENCIAS

- Akerstrom, T.C., C.P. Fischer, P. Plomgaard, C. Thomsen, G. van Hall, and B.K. Pedersen (2009). Glucose ingestion during endurance training does not alter adaptation. *J. Appl. Physiol.* 106:1771-1779.
- Burke, L.M. (2010). Fueling strategies to optimize performance: training high or training low? *Scand. J. Med. Sci. Sports* 20 (Suppl) 2:48-58. Burke, L.M., J.A. Hawley, S.H. Wong, and A.E. Jeukendrup (2011). Carbohydrates for training and competition. *J. Sports Sci.* 29 Suppl 1:S17-S27.
- Chakravarthy, M.V., and F.W. Booth (2004). Eating, exercise, and "thrifty" genotypes: connecting the dots toward an evolutionary understanding of modern chronic diseases. *J. Appl. Physiol.* 96:3-10.
- Cox, G.R., S.A. Clark, A.J. Cox, S.L. Halson, M. Hargreaves, J.A. Hawley, N. Jeacocke, R.J. Snow, W.K. Yeo, and L.M. Burke (2010). Daily training with high carbohydrate availability increases exogenous carbohydrate oxidation during endurance cycling. *J. Appl. Physiol.* 109:126-134.
- De Bock K, W. Derave, B.O. Eijnde, M.K. Hesselink, E. Koninckx, A.J. Rose, P. Schrauwen, A. Bonen, E.A. Richter, and P. Hespel (2008). Effect of training in the fasted state on metabolic responses during exercise with carbohydrate intake. *J. Appl. Physiol.* 104:1045-1055.
- Hansen, A.K., C.P. Fischer, P. Plomgaard, J.L. Andersen, B. Saltin, and B.K. Pedersen (2005). Skeletal muscle adaptation: training twice every second day vs. training once daily. *J. Appl. Physiol.* 98:93-99.
- Hawley J.A. (2013). Nutritional strategies to modulate the adaptive response to endurance training. *Nestle Nutr. Inst. Workshop Ser.* 75:1-14.
- Hawley, J.A., and L.M. Burke (2010). Carbohydrate availability and training adaptation: Effects on cell metabolism. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 38:152-60.
- Hawley, J.A., and J.P. Morton (2014). Ramping up the signal: promoting endurance training adaptation in skeletal muscle by nutritional manipulation. *Clin. Exp. Physiol. Pharmacol* (in press).
- Hawley, J.A., L.M. Burke, S.M. Phillips, and L.L. Spriet (2011). Nutritional modulation of training-induced skeletal muscle adaptations. *J. Appl. Physiol.* 110:834-845.
- Hulston, C.J., M.C. Venables, C.H. Mann, C. Martin, A. Philp, K. Baar, and A.E. Jeukendrup (2010). Training with low muscle glycogen enhances fat metabolism in well-trained cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 42:2046-2055.
- Lane, S.C., J.L. Areta, S.R. Bird, V.G. Coffey, L.M. Burke, B. Desbrow, L.G. Karagounis, and J.A. Hawley (2013). Caffeine ingestion and cycling power output in a low or normal muscle glycogen state. *Med. Sci. Sports Exerc.* 45:1577-84.
- Morton J.P., L. Croft, J.D. Bartlett, D.P. MacLaren, T. Reilly, L. Evans, A. McArdle, and B. Drust (2009). Reduced carbohydrate availability does not modulate training-induced heat shock protein adaptations but does upregulate oxidative enzyme activity in human skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 106:1513-1521.
- Nybo L., K. Pedersen, B. Christensen, P. Aagaard, N. Brandt, and B. Kiens (2009). Impact of carbohydrate supplementation during endurance training on glycogen storage and performance. *Acta Physiol.* 197:117-127.
- Philp, A., M. Hargreaves, and K. Baar (2012). More than a store: regulatory roles for glycogen in skeletal muscle adaptation to exercise. *Am. J. Physiol.* 302:E1343-E1351.
- Yeo, W.K., C.D. Paton, A.P. Garnham, L.M. Burke, A.L. Carey, and J.A. Hawley. (2008). Skeletal muscle adaptation and performance responses to once a day versus twice every second day endurance training regimens. *J. Appl. Physiol.* 105:1462-1470.

TRADUCCIÓN

Este artículo ha sido traducido y adaptado de: Hawley, J. (2014). Manipulating Carbohydrate availability to Promote Training Adaptation. *Sports Science Exchange* 134, Vol. 27, No. 134, 1-7, por Nidia Rodríguez Ph.D.