

Monograph

Optimización de las Adaptaciones al Entrenamiento con Sobrecarga a través del Momento Elegido para la Suplementación Post-Ejercicio con Carbohidratos y Proteínas

John L Ivy y Lisa M Ferguson

Exercise Physiology and Metabolism Laboratory, Department of Kinesiology and Health Education, University of Texas at Austin, Texas 78712.

RESUMEN

Una suplementación nutricional adecuada es crítica para la recuperación del ejercicio con sobrecarga intenso. La investigación reciente ha demostrado la efectividad de la suplementación con carbohidratos y proteínas para la restauración del glucógeno muscular, la reparación del daño muscular, la atenuación de la degradación de proteínas y la iniciación de la síntesis proteica. En el presente artículo se describen los mecanismos mediante los cuales la suplementación con carbohidratos y proteínas puede acelerar la recuperación y optimizar las adaptaciones al entrenamiento. Además, se sugieren diversas formas mediante las cuales, aquellos que realizan entrenamientos con sobrecarga, puedan efectuar en forma práctica las diferentes estrategias nutricionales.

Palabras Clave: ejercicio con sobrecarga, suplementación nutricional, glucógeno muscular, síntesis proteica, función inmunológica, daño muscular

INTRODUCCION

Después de una intensa serie de ejercicios, el cuerpo se encuentra principalmente en un estado catabólico. Las hormonas del estrés, como el cortisol, se elevan y las reservas de combustible como el glucógeno muscular se encuentran reducidas o incluso agotadas. Para que se produzca la recuperación y las adaptaciones positivas en el ritmo más óptimo posible, debe provocarse un cambio desde este estado catabólico hacia uno anabólico. La ingesta nutricional apropiada y en el momento óptimo luego del ejercicio es crucial para que se produzca esta transición deseada.

La suplementación nutricional post-ejercicio es efectiva por diversas razones. Inmediatamente después del ejercicio, se incrementa la sensibilidad del músculo a los estímulos nutricionales, permaneciendo elevada al máximo durante 30-60 minutos aproximadamente. La ingesta de nutrientes durante este período de tiempo optimiza la tasa a la cual se puede reponer el glucógeno muscular y activar la síntesis proteica. Además, los nutrientes pueden atenuar la respuesta de la hormona catabólica del estrés (31) y ayudar a prevenir la degradación adicional de las proteínas (4), acelerando así la

acreción proteica. La combinación de proteínas y carbohidratos es más efectiva que cualquier macronutriente sólo, debido a que cada uno activa vías de señalización diferentes pero cooperativas que sirven para regular el metabolismo de los carbohidratos y las proteínas. El almacenamiento de glucógeno muscular y la incrementada acreción proteica llevan a una recuperación más rápida y a un aumento de la masa muscular y la fuerza, objetivos claves de cualquier programa de entrenamiento con sobrecarga. Además, la suplementación de nutrientes apropiada durante y después del ejercicio puede prevenir la supresión del sistema inmunológico inducida por el ejercicio.

GLUCOGENO MUSCULAR

Si bien en el contexto del entrenamiento de la resistencia comúnmente se discute acerca de la importancia del glucógeno muscular, esta fuente de combustible es crucial para el entrenamiento con sobrecarga. Las reservas de glucógeno muscular pueden disminuir significativamente después de una sesión intensa de ejercicios con sobrecarga (17), y es importante que el glucógeno se restituya antes de la siguiente sesión para así asegurar un entrenamiento de calidad. Si la recuperación es más efectiva, entonces se puede concebir que la carga de entrenamiento pueda incrementarse a un ritmo más rápido para una mayor adaptación al entrenamiento.

Se ha demostrado que a través de la suplementación con carbohidratos inmediatamente después del ejercicio se obtiene como resultado una tasa dos veces mayor de síntesis de glucógeno en comparación con la misma suplementación llevada a cabo 2 horas después del ejercicio (22), y que una ingesta de carbohidratos mayor a $1.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal aumenta al máximo el almacenamiento de glucógeno muscular cuando se la suministra en intervalos de 2 horas (23). La inclusión de más calorías no continuará incrementando la tasa de resíntesis de glucógeno muscular. De hecho, la ingesta de $3.0 \text{ g CHO}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal inmediatamente después y 2 horas después del ejercicio versus $1.5 \text{ g CHO}\cdot\text{kg}^{-1}$ mostró provocar el mismo efecto sobre la resíntesis de glucógeno muscular durante un período de recuperación de 4 horas (23). Sin embargo, se ha demostrado que una suplementación más frecuente, como por ejemplo cada 15 a 30 minutos, da como resultado una tasa de síntesis 25 a 30% mayor que cuando se recibe una suplementación cada 2 horas (11, 49). La cantidad de carbohidratos necesarios para aumentar al máximo el almacenamiento de glucógeno cuando la suplementación se realiza en forma frecuente ($1.5 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal $\cdot\text{h}^{-1}$) es dos veces mayor de lo que se demostró que es más efectivo cuando la suplementación se realiza a intervalos de 2 horas ($0.75 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal $\cdot\text{h}^{-1}$). Con facilidad podría considerarse que la ingesta de esta cantidad elevada de carbohidratos es excesiva para muchas personas, y la elevada frecuencia de suplementación no refleja una estrategia práctica post-ejercicio.

Un método más práctico para la mayoría de los individuos que ejercitan y los atletas es ingerir la suplementación inmediatamente después del ejercicio y alrededor de 2 horas más tarde. Una estrategia que pueda implementarse en forma práctica en los entrenamientos diarios o en los eventos competitivos y que aumente al máximo la restitución del glucógeno muscular es mucho más atractiva y útil. En lugar de suministrar grandes bolos de carbohidratos, la investigación sugiere que se pueda suministrar una cantidad más moderada de carbohidratos con la suma de una pequeña cantidad de proteínas. De hecho, se ha demostrado que dicha suplementación de carbohidratos con proteínas aumenta la resíntesis de glucógeno muscular al mismo grado que cuando a menudo se suministran grandes cantidades de carbohidratos (2, 20, 54). La cantidad de carbohidratos y proteínas más efectiva que se halló varía entre 1.2 y $1.5 \text{ g CHO}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal y de 0.4 a $0.6 \text{ g PRO}\cdot\text{kg}^{-1}$ cuando se la suministra inmediatamente después del ejercicio y a intervalos de 2 horas. No obstante, para los individuos que realizan entrenamientos con sobrecarga, la cantidad de carbohidratos puede reducirse de 1.0 a $1.2 \text{ g CHO}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal porque las reservas de carbohidratos no disminuyen tanto en los ejercicios con sobrecarga como sucede con los ejercicios de resistencia prolongados.

Es importante comprender que después de la realización de ejercicios que provoquen la depleción de las reservas de glucógeno, la resíntesis de glucógeno muscular será escasa o nula hasta poder disponer de los carbohidratos adecuados (22, 23, 54). Por lo tanto, la ingesta temprana de carbohidratos post ejercicio es ventajosa porque brinda una fuente inmediata de sustrato para que los músculos realicen la resíntesis de glucógeno, a la vez que también se tiene la ventaja de la mayor sensibilidad a la insulina que se desarrolla debido a la contracción muscular (15, 21, 39). Asimismo, la suplementación realizada inmediatamente post ejercicio parece retrasar la declinación en la sensibilidad a la insulina y la suplementación a intervalos de 2 horas, o con mayor frecuencia, permite mantener una tasa relativamente alta de almacenamiento de glucógeno por hasta 8 horas después del ejercicio (5, 23).

Es importante señalar que si bien el suministro de proteínas, además de los carbohidratos, puede no incrementar la síntesis de glucógeno en mayor medida que el suministro de grandes bolos de carbohidratos a intervalos frecuentes, las ventajas del consumo de carbohidratos y proteínas incluyen la mayor tasa de almacenamiento de glucógeno sin consumir calorías adicionales innecesarias tal como con la ingesta de grandes cantidades de carbohidratos, la mayor estimulación de la síntesis proteica, y la reducción del daño muscular. Estos beneficios pueden conducir a una más rápida recuperación y

adaptación al entrenamiento con sobrecarga.

Daño muscular

El daño muscular asociado a los ejercicios con sobrecarga se produce a partir del estrés mecánico impuesto sobre las fibras musculares durante la fase excéntrica de la contracción (7, 13) así como también por el entorno catabólico hormonal que incrementa la degradación de las proteínas musculares después del ejercicio. Cuando no se suministra ninguna suplementación después del ejercicio, predomina este entorno catabólico, y el daño muscular continúa incrementándose durante muchas horas. Además, se ha demostrado que la resíntesis de glucógeno muscular se ve afectada por el daño muscular (9, 50), limitando la resíntesis de glucógeno por varios días.

Recientemente, Baty et al. (1) reportaron que la suplementación con carbohidratos y proteínas antes, durante e inmediatamente después del ejercicio con sobrecarga disminuyó la aparición de mioglobina y *creatinfosfoquinasa* (CPK) en la sangre que se produjo durante y después del ejercicio. Estas proteínas se hallan en el músculo esquelético y se filtran a la circulación sanguínea cuando se produce daño muscular. Los resultados de Baty et al. (1) sugieren que la suplementación con carbohidratos y proteínas puede limitar el daño muscular que se produce durante y también en las horas posteriores a una serie de ejercicios. En un estudio previo llevado a cabo por Wojcik et al. (53) se reportó una tendencia ($p < 0.08$) hacia una menor concentración de CPK luego de la ingesta de un suplemento de carbohidratos y proteínas a base de leche en comparación con la infusión sólo de carbohidratos después del ejercicio con sobrecarga, aunque no se reportaron diferencias respecto de los indicadores inflamatorios ni en la función muscular.

Otras investigaciones que han utilizado modelos de ejercicios de resistencia han demostrado una reducción del daño muscular como respuesta a la suplementación con carbohidratos y proteínas en comparación con los carbohidratos solos o el placebo (8, 40-43). Recientemente, Valentine et al. (48) investigaron las respuestas de ciclistas entrenados a la suplementación con carbohidratos versus la suplementación con carbohidratos y proteínas. Los ciclistas realizaron una serie intensa de ciclismo hasta el agotamiento mientras que recibían los tratamientos durante la serie. Después de un período de recuperación de 24 horas, los ciclistas realizaron una sesión de ejercicios con sobrecarga que consistió de extensiones de rodilla hasta el agotamiento. No sólo el tiempo de ejercicio de ciclismo hasta el agotamiento fue más prolongado con el tratamiento con carbohidratos y proteínas, sino que también la cantidad de repeticiones de extensiones de rodilla hasta el agotamiento realizadas 24 horas después fue significativamente mayor en comparación con los tratamientos con carbohidratos o placebo. Los autores también reportaron una reducción significativa en los indicadores del daño muscular, posterior a la serie de ciclismo, con la ingesta del suplemento a base de carbohidratos y proteínas (48). Los mecanismos por los cuales los carbohidratos y las proteínas atenúan el daño muscular aún no se han dilucidado por completo, pero es probable que la función de la insulina para reducir la degradación de proteínas musculares sea un factor clave, así como también para atenuar el entorno hormonal catabólico post-ejercicio.

FUNCION INMUNOLOGICA

En la actualidad, hay pocos estudios que hayan investigado los efectos de la suplementación con carbohidratos y proteínas sobre la función inmunológica después del entrenamiento de la fuerza con altas cargas. Los efectos de la suplementación nutricional sobre la función inmunológica durante y después de ejercicios de resistencia como el ciclismo o la carrera están mejor diferenciados, aunque las interacciones entre la nutrición, el ejercicio y el sistema inmunológico aún son un campo de investigación creciente y apasionante.

Los estudios de Nieman et al., sobre la inmunología del ejercicio han aclarado algunos aspectos relacionados con los cambios en la función inmunológica, principalmente en respuesta a los ejercicios de resistencia (ciclismo y carrera). Se sabe con certeza que el ejercicio intenso y prolongado puede impactar de manera negativa en el sistema inmunológico, dando como resultado una depresión de la función inmune y mayores índices de enfermedades tales como las infecciones del tracto respiratorio superior (30, 35). Si bien la respuesta inmunológica al entrenamiento con sobrecarga está menos diferenciada, al parecer una serie aguda de ejercicios con sobrecarga pueden impactar en el sistema inmunológico. Debido a que se ha demostrado que los carbohidratos atenúan las perturbaciones en las células inmunes y las citoquinas en respuesta al ejercicio intenso de resistencia (29, 33, 34, 36), Nieman et al. (32) buscaron determinar si dicha suplementación podría afectar los cambios en las citoquinas en respuesta a una sesión de entrenamiento con sobrecarga de 2 horas de duración en individuos entrenados. En comparación con la ingesta de placebo, la ingesta de carbohidratos no atenuó los modestos incrementos en los niveles plasmáticos de interleucina (IL)-6, IL-10, IL-1ra, y IL-8 ni los niveles de expresión del gen muscular para IL-1b, IL-6, IL-8 y el factor de necrosis tumoral α (32). Dado que todos los individuos estaban entrenados en la fuerza, es posible que se pudiera hallar una diferencia en comparación con un grupo no entrenado, como se sugiere en el estudio llevado a cabo por Potteiger et al. (37).

Potteiger et al. (37) compararon los conteos de glóbulos blancos y las respuestas de las células T proliferativas en mujeres entrenadas y no entrenadas en la fuerza después de una sesión aguda de entrenamiento con sobrecarga. Mientras que en las mujeres entrenadas no se observó ningún cambio en estos parámetros, en las mujeres desentrenadas el conteo de glóbulos blancos se incrementó y la capacidad proliferativa de las células T disminuyó de manera significativa durante el periodo de 3 horas posteriores al ejercicio (37). Estos resultados sugieren que al menos estos parámetros inmunológicos se adaptan al entrenamiento con sobrecarga, pues la función inmunológica se ve menos perturbada o deprimida después de cada sesión en los individuos entrenados en comparación con los no entrenados.

Según se sabe, aún no se han investigado los efectos de la suplementación con carbohidratos y proteínas sobre la función inmunológica después del entrenamiento con sobrecarga. Dado que se ha demostrado que la suplementación con carbohidratos atenúa las perturbaciones inmunológicas en ejercicios de resistencia, y en base al conocimiento actual de las posibles perturbaciones inmunológicas en los individuos no entrenados después de una sesión aguda de ejercicios con sobrecarga, es razonable plantear la hipótesis de que la suplementación nutricional puede ser muy importante para proteger el sistema inmunológico después de cada práctica, siendo así menos susceptibles a infecciones y enfermedades oportunistas. Esto puede ser especialmente importante para los individuos que recién comienzan un programa de entrenamiento.

SINTESIS PROTEICA

El incremento en el contenido mixto de proteínas musculares es la adaptación fundamental al entrenamiento con sobrecarga. Mientras que el entrenamiento con sobrecarga está asociado a la hipertrofia de las fibras de los músculos esqueléticos, el entrenamiento de la resistencia se asocia principalmente con el incremento de las proteínas mitocondriales. Por lo tanto, ambos tipos de ejercicio estimulan la síntesis de proteínas musculares mixtas, aunque con una respuesta específica al tipo de ejercicio (51). Para cumplir con los objetivos de esta revisión, la discusión se enfocará principalmente en las respuestas al entrenamiento con sobrecarga, pero a la vez que se discutirá información valiosa proveniente de los estudios que utilizaron el entrenamiento de la resistencia.

Si bien una serie aguda de ejercicios con sobrecarga incrementa la síntesis de proteínas musculares por sobre de la tasa basal, también incrementa el ritmo de degradación de las proteínas. El equilibrio entre la degradación y la síntesis determina el balance neto de proteínas; y para obtener ganancias de fuerza y masa, es esencial crear un balance positivo de proteínas. Desafortunadamente, luego de una sesión de ejercicios con sobrecarga, el balance neto negativo predominará hasta que se produzca la ingesta nutricional.

Se ha demostrado que la inclusión de las proteínas adecuadas, en especial de aminoácidos esenciales, a la suplementación con carbohidratos post-ejercicio es fundamental para optimizar la síntesis proteica, crear un balance proteico positivo, reparar el daño muscular y estimular las adaptaciones al entrenamiento (3, 10, 14, 16, 24, 25, 38, 45). Además, los carbohidratos y las proteínas pueden reducir la degradación de proteínas musculares, principalmente debido al incremento en los niveles de insulina plasmática. La insulina es una de las hormonas más anabólicas del cuerpo y ejerce su efecto más potente mediante la reducción de la degradación de proteínas después del ejercicio (4, 6). Cuando se suministra una suplementación que contiene proteínas o aminoácidos después del ejercicio, el balance neto de proteínas cambia porque la tasa de síntesis ahora puede exceder a la tasa de degradación (45).

Se ha demostrado que al elevar los niveles de aminoácidos plasmáticos mediante la suplementación por infusión o vía oral se produce un cambio, de negativo a positivo, en el balance de proteínas musculares debido a la estimulación de la síntesis proteica (38). Los estudios llevados a cabo por Levenhagen et al. (25) y por Miller et al. (27), han demostrado que la combinación de carbohidratos y proteínas o aminoácidos pueden tener verdaderamente un efecto aditivo (25, 27), que probablemente se debe en parte a un efecto sinérgico sobre la respuesta de la insulina plasmática (44, 54) y a los niveles elevados de aminoácidos plasmáticos. Cuando se dispone de aminoácidos, la insulina puede tener un papel estimulante mayor sobre la síntesis proteica (28), aunque su papel más importante para facilitar un balance proteico positivo parece estar en la reducción de la degradación (4).

Dado que los aminoácidos estimulan la síntesis proteica, y que el incremento en el nivel plasmático de insulina + reduce la degradación de proteínas, la combinación de carbohidratos y proteínas en la suplementación puede dar como resultado un balance neto positivo de proteínas. Esto se debe a la acción sinérgica de los carbohidratos y las proteínas sobre 2 vías diferentes pero cooperativas (19, 28). La ingesta de carbohidratos activa la vía de señalización de la insulina, mientras que los aminoácidos en las proteínas comprometen la vía denominada blanco de rampamicina en mamíferos (mTOR). Estas vías convergen para incrementar la síntesis de glucógeno muscular y también para activar la iniciación del proceso de traducción del ARN mensajero, que es el paso limitante de la tasa a la que se produce la síntesis proteica (Figura 1).

Recientemente, Howarth and et al. (18) utilizaron la metodología de isotopos estables y la técnica de biopsia muscular para determinar el efecto de 3 tratamientos diferentes con carbohidratos o carbohidratos y proteínas sobre la tasa fraccional mixta de síntesis proteica (FSR) y sobre el balance proteico corporal total luego del entrenamiento de la resistencia. Estos investigadores suministraron 1.2 g CHO·kg⁻¹·h⁻¹, 1.2 g CHO + 0.4 g PRO·kg⁻¹·h⁻¹, o 1.6 g CHO kg⁻¹·h⁻¹ durante las 3 horas del período de recuperación y osbervaron que sólo en la condición de carbohidratos y proteínas el balance proteico corporal total fue positivo. Esto se debió principalmente a una reducción en la tasa de degradación proteica (18). Además, las biopsias obtenidas después de 4 horas de recuperación revelaron que la FSR del músculo fue más elevada en el tratamiento con carbohidratos y proteínas que en los tratamientos con carbohidratos (18). Los hallazgos de este estudio respaldan la hipótesis de que una suplementación con carbohidratos y proteínas post-ejercicio es más efectiva para promover la acreción de proteínas musculares en comparación con la ingesta solamente de carbohidratos.

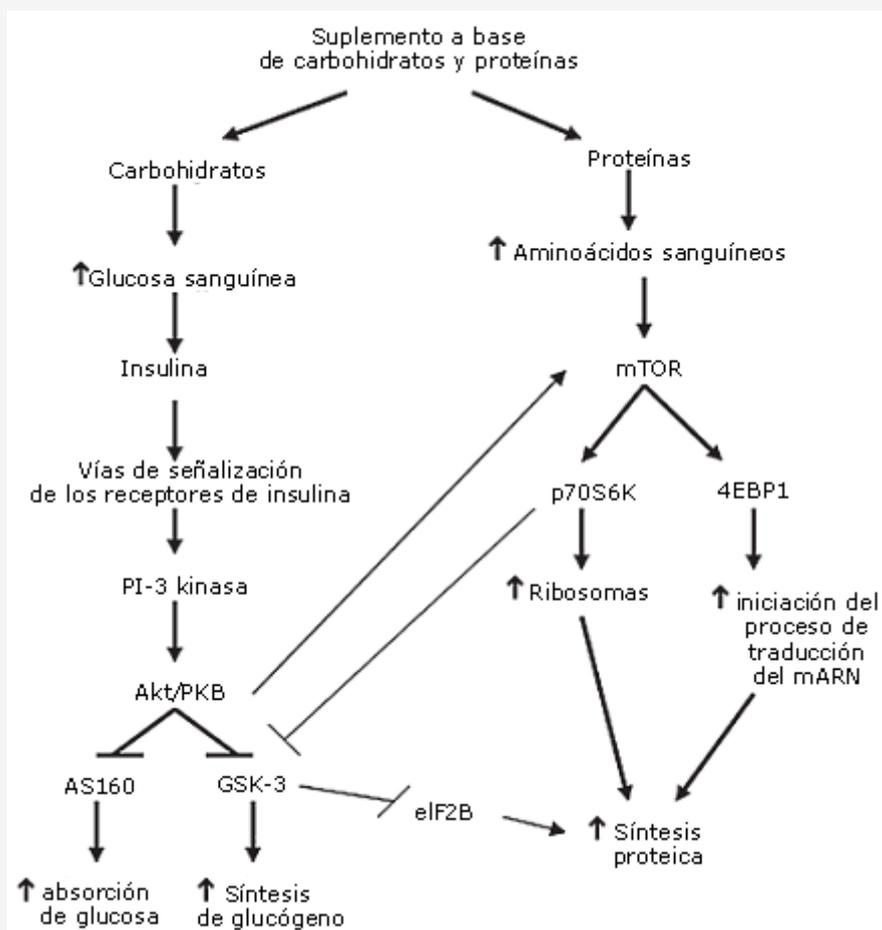


Figura 1. Interacción cooperativa entre las vías activadas por los carbohidratos y las proteínas. Cuando se ingieren carbohidratos, la glucosa sanguínea aumenta, estimulando un incremento de los niveles sanguíneos de insulina. La insulina activa una cascada de señalización intracelular ligándose a su receptor en la membrana celular. Los blancos en el flujo descendente incluyen la AS160 y la glucógeno sintetasa kinasa 3 (GSK-3). En general la AS160 inhibe el proceso mediante el cual la glucosa entra a la célula pero cuando está fosforilada, la inhibición se disipa, lo que lleva a una capacidad incrementada para el consumo de glucosa celular. La GSK-3 inhibe la enzima glucógeno sintetasa, que controla la síntesis de glucógeno. Cuando está fosforilada por Akt, se suprime la inhibición de la glucógeno sintetasa y puede desarrollarse el proceso de síntesis de glucógeno. La fosforilación de GSK-3 también incrementa la iniciación del proceso de traducción del ARN mensajero (mRNA) mediante el alivio de la disipación de eIF2B, un factor de iniciación crítico. De forma concomitante, los aminoácidos provenientes de las proteínas llevan a la activación de la vía blanco de rampamicina en mamíferos (mTOR), que finalmente controla la síntesis proteica. Las flechas entre las vías indican las áreas de interacción.

Así como el músculo esquelético es más sensible a la insulina y al sustrato nutricional para la resíntesis de glucógeno inmediatamente después del ejercicio, la estimulación de síntesis proteica por medio de los aminoácidos también es más sensible inmediatamente después del ejercicio. Levenhagen et al. (26) suministraron un suplemento a base de carbohidratos y proteínas inmediatamente o 3 horas después de una serie de ejercicios de ciclismo de intensidad moderada y hallaron que la síntesis proteica corporal total se incrementó en un 300% en comparación con sólo el incremento del 12%

cuando la suplementación se retrasó por 3 horas (26). Si bien el suministro de un suplemento a base de carbohidratos y proteínas inmediatamente después del ejercicio es más eficaz que si la ingesta se retrasa unas horas, Otras investigaciones han mostrado que la ingesta de la suplementación antes de una sesión de entrenamiento con sobrecarga puede incrementar la síntesis de proteínas musculares en mayor medida que si la suplementación se realiza luego del ejercicio (47). Tipton et al. (45) suministraron un suplemento a base de carbohidratos y aminoácidos esenciales antes o inmediatamente después de la realización de ejercicios con sobrecarga y hallaron que la síntesis de proteínas musculares fue mayor cuando el suplemento se suministró antes del ejercicio, posiblemente debido al aumento en el transporte de aminoácidos hacia el músculo a causa del incremento en el flujo sanguíneo que se produce durante el ejercicio. Tipton et al. (46) investigaron estos resultados para determinar si las proteínas de suero serían tan eficaces como los aminoácidos esenciales cuando se las suministra antes del ejercicio. Sin embargo, no se observaron diferencias en la síntesis proteica cuando las proteínas se suministraron antes o después del ejercicio.

Horarios de las Sesiones de Entrenamiento			
Hora del día	Sesión de Entrenamiento AM	Sesión de Entrenamiento PM	2 Sesiones x día
7:00 AM	Desayuno (CP)	Desayuno (CP)	Desayuno (CP)
8:00 AM			
9:00 AM	RT		RT
10:00 AM	Suplementación con CP (2.5:1)		Suplementación con CP (2.5:1)
11:00 AM			
12:00 PM	Almuerzo (CP)	Almuerzo (CP)	Almuerzo (CP)
1:00 PM			
2:00 PM			
3:00 PM	Merienda CP (1:1)	Merienda CP (1:1)	
4:00 PM			RT
5:00 PM		RT	Suplementación con CP (2.5:1)
6:00 PM	Cena (CP)	Suplementación con CP (2.5:1)	
7:00 PM			Cena (CP)
8:00 PM		Cena (CP)	

Tabla 1. Ejemplos de posibles horarios de sesiones, suplementación y comidas para 3 programas diferentes de entrenamiento diario. Los índices enumerados son las cantidades de carbohidratos y proteínas sugeridos en gramos. CP = carbohidratos y proteínas; RT = sesión de entrenamiento con sobrecarga; Suplementación = suplementación post-ejercicio.

En estudios de entrenamiento con sobrecarga que tuvieron una duración de varias semanas, se ha demostrado que la suplementación con carbohidratos y proteínas incrementa la masa muscular y el desarrollo de la fuerza cuando la suplementación es consumida en la proximidad del comienzo o del final de las sesiones de entrenamiento con sobrecarga, en oposición a la suplementación realizada varias horas antes o después del entrenamiento. Cribb y Hayes (10) recientemente demostraron que podría lograrse un incremento significativamente mayor en la masa muscular y la fuerza durante 10 semanas de entrenamiento con sobrecarga si se ingiere un suplemento a base de carbohidratos y proteínas, más creatina, antes o inmediatamente después de cada práctica diaria en comparación con el suministro del suplemento a la mañana y a la noche. Esto concuerda con los hallazgos previos de Esmarck et al. (12), quienes investigaron los efectos de la ingesta de un suplemento a base de carbohidratos y proteínas ya sea inmediatamente después del ejercicio con sobrecarga o con un retraso de 2 horas en un grupo de hombres de la tercera edad. Estos investigadores hallaron que hubo un incremento significativo en la masa muscular y la fuerza dinámica e isocinética cuando la suplementación se suministró inmediatamente después del ejercicio, mientras que se observó un pequeño incremento en la fuerza dinámica en el grupo que ingirió la suplementación 2 horas después del ejercicio (12). Dado que el aumento de la masa muscular y la fuerza son los objetivos principales de un programa de entrenamiento con sobrecarga, parece claro que la suplementación con carbohidratos más proteínas después de cada sesión de entrenamiento es la manera más efectiva y provechosa de lograr estas metas.

CONCLUSION

En resumen, si bien el ejercicio con sobrecarga estimula el crecimiento muscular, el proceso de acreción de proteínas musculares es muy limitado hasta que se suministra un sustrato nutricional. En ausencia de la suplementación, predomina un estado catabólico y el balance proteico neto es negativo. El suministro de un suplemento a base de carbohidratos y proteínas inmediatamente después y 2 horas posteriores al ejercicio puede incrementar la tasa y la cantidad de reposición de glucógeno muscular, reducir el daño muscular, posiblemente proteger la función inmunológica e incrementar la tasa de síntesis de proteínas musculares a un grado mayor que el suministro de carbohidratos o proteínas por si solas. La suplementación con carbohidratos más proteínas lleva a mayores ganancias en la masa muscular y la fuerza, que es el objetivo general de los programas de entrenamiento con sobrecarga.

APLICACIONES PRACTICAS

Dada esta interpretación de los presentes datos sobre el ejercicio con sobrecarga y la suplementación nutricional, se recomienda que podrían ingerirse aproximadamente de 1.0 a 1.2 g de carbohidratos, más 0.5 a 0.6 g de proteínas por kilogramo de peso corporal, inmediatamente después de una sesión de ejercicios con sobrecarga y luego una vez más 2 horas después, ya sea mediante la ingesta de un suplemento o simplemente a través de la comida. La fuente de proteínas debería contener una cantidad significativa de suero, pues se halló que es más efectivo para la estimulación de la síntesis proteica (52). Para una persona de 70 kg., cada suplementación sería de 70 a 84 g carbohidratos más 35 a 40 g de proteínas, dando un total de 400 a 500 kcal. En la Tabla 1 se muestra la aplicación más práctica de esta estrategia de elección del momento para la suplementación. El cumplimiento de un plan nutricional como este puede crear sin dudas el marco para lograr más adaptaciones positivas a un programa de entrenamiento con sobrecarga.

REFERENCIAS

1. Baty JJ, Hwang H, Ding Z, Bernard JR, Wang B, Kwon B, and Ivy JL (2007). The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage. *J Strength Cond Res* 21: 321-329
2. Berardi JM, Price TB, Noreen EE, and Lemon PW (2006). Postexercise muscle glycogen recovery enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1106-1113
3. Biolo G, Tipton KD, Klein S, and Wolfe RR (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 273: E122-E129
4. Biolo G, Williams BD, Fleming RY, and Wolfe RR (1999). Insulin action on muscle protein kinetics and amino acid transport during recovery after resistance exercise. *Diabetes* 48: 949-957
5. Biolo G, Williams BD, Fleming RY, and Wolfe RR (1999). Insulin action on muscle protein kinetics and amino acid transport during recovery after resistance exercise. *Diabetes* 48: 949-957
6. Borsheim E, Cree MG, Tipton KD, Elliott TA, Aarstrand A, and Wolfe RR (2004). Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol* 96: 674-678
7. Borsheim E, Cree MG, Tipton KD, Elliott TA, Aarstrand A, and Wolfe RR (2004). Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol* 96: 674-678
8. Combest T, Saunders M, Kane M, and Todd K. Attenuated CPK (2005). following carbohydrate/protein intervention improves subsequent performance. *Med Sci Sports Exerc* 37: S42
9. Costill DL, Pascoe DD, Fink WJ, Robergs RA, Barr SI, and Pearson D (1990). Impaired muscle glycogen resynthesis after eccentric exercise. *J Appl Physiol* 69: 46-50
10. Cribb PJ and Hayes A (2006). Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1918-1925
11. Doyle JA, Sherman WM, and Strauss RL (1993). Effects of eccentric and concentric exercise on muscle glycogen replenishment. *J Appl Physiol* 74: 1848-1855
12. Esmarck B, Andersen JL, Olsen S, Richter EA, Mizuno M, and Kjar M (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 535: 301-311
13. Evans WJ, Meredith CN, Cannon JG, Dinarello CA, Frontera WR, Hughes VA, Jones BH, and Knuttgen HG (1986). Metabolic changes following eccentric exercise in trained and untrained men. *J Appl Physiol* 61: 1864-1868
14. Flakoll PJ, Judy T, Flinn K, Carr C, and Flinn S (2004). Postexercise protein supplementation improves health and muscle soreness during basic military training in marine recruits. *J Appl Physiol* 96: 951-956
15. Garetto LP, Richter EA, Goodman MN, and Ruderman NB (1984). Enhanced muscle glucose metabolism after exercise in the rat.

16. Gautsch TA, Anthony JC, Kimball SR, Paul GL, Layman DK, and Jefferson LS (1998). Availability of eIF4E regulates skeletal muscle protein synthesis during recovery from exercise. *Am J Physiol Cell Physiol* 274: C406-C414
17. Haff GG, Koch AJ, Potteiger JA, Kuphal KE, Magee LM, Green SB, and Jakicic JJ (2000). Carbohydrate supplementation attenuates muscle glycogen loss during acute bouts of resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 10: 326-339
18. Howarth KR, Moreau NA, Phillips SM, and Gibala MJ (2009). Co-ingestion of protein with carbohydrate during recovery from endurance exercise stimulates skeletal muscle protein synthesis in humans. *J Appl Physiol* 106: 1394-1402
19. Ivy JL, Ding Z, Hwang H, Cialdella-Kam LC, and Morrison PJ (2008). Post exercise carbohydrate-protein supplementation. *Phosphorylation of muscle proteins involved in glycogen synthesis and protein translation. Amino Acids* 35: 89-97
20. Ivy JL, Goforth HW Jr, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, and Price TB (2002). Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol* 93: 1337-1344
21. Ivy JL and Holloszy JO (1981). Persistent increase in glucose uptake by rat skeletal muscle following exercise. *Am J Physiol Cell Physiol* 241: C200-C203
22. Ivy JL, Katz AL, Cutler CL, Sherman WM, and Coyle EF (1988). Muscle glycogen synthesis after exercise: Effect of time of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 64: 1480-1485
23. Ivy JL, Lee MC, Brozinick JT Jr, and Reed MJ (1988). Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J Appl Physiol* 65: 2018-2023
24. Koopman R, Pannemans DLE, Jeukendrup AE, Gijzen AP, Senden JMG, Halliday D, Saris WHM, van Loon LJC, and Wagenmakers AJM (2004). Combined ingestion of protein and carbohydrate improves protein balance during ultra-endurance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 287: E712-E720
25. Levenhagen DK, Carr C, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, and Flakoll PJ (2002). Postexercise protein intake enhances whole-body and leg protein accretion in humans. *Med Sci Sports Exerc* 34: 828-837
26. Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, and Flakoll PJ (2001). Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 280: E982-E993
27. Miller SL, Tipton KD, Chinkes DL, Wolf SE, and Wolfe RR (2003). Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 35: 449-455
28. Morrison PJ, Hara D, Ding Z, and Ivy JL (2008). Adding protein to a carbohydrate supplement provided after endurance exercise enhances 4E-BP1 and RPS6 signaling in skeletal muscle. *J Appl Physiol* 104: 1029-1036
29. Nehlsen-Cannarella SL, Fagoaga OR, Nieman DC, Henson DA, Butterworth DE, Schmitt RL, Bailey EM, Warren BJ, Utter A, and Davis JM (1997). Carbohydrate and the cytokine response to 2.5 h of running. *J Appl Physiol* 82: 1662-1667
30. Nieman DC, Berk LS, Simpson-Westerber M, Arabatzis K, Youngberg S, Tan SA, Lee JW, and Eby WC (1989). Effects of long-endurance running on immune system parameters and lymphocyte function in experienced marathoners. *Int J Sports Med* 10: 317-323
31. Nieman DC (1997). Immune response to heavy exertion. *J Appl Physiol* 82: 1385-1394
32. Nieman DC, Davis JM, Brown VA, Henson DA, Dumke CL, Utter AC, Vinci DM, Downs MF, Smith JC, Carson J, Brown A, McAnulty SR, and McAnulty LS (2004). Influence of carbohydrate ingestion on immune changes after 2 h of intensive resistance training. *J Appl Physiol* 96: 1292-1298
33. Nieman DC, Davis JM, Henson DA, Walberg-Rankin J, Shute M, Dumke CL, Utter AC, Vinci DM, Carson JA, Brown A, Lee WJ, McAnulty SR, and McAnulty LS (2003). Carbohydrate ingestion influences skeletal muscle cytokine mRNA and plasma cytokine levels after a 3-h run. *J Appl Physiol* 94: 1917-1925
34. Nieman DC, Fagoaga OR, Butterworth DE, Warren BJ, Utter A, Davis JM, Henson DA, and Nehlsen-Cannarella SL (1997). Carbohydrate supplementation affects blood granulocyte and monocyte trafficking but not function after 2.5 h of running. *Am J Clin Nutr* 66: 153-159
35. Nieman DC, Johanssen LM, Lee JW, and Arabatzis K (1990). Infectious episodes in runners before and after the Los Angeles Marathon. *J Sports Med Phys Fitness* 30: 316-328
36. Nieman DC, Nehlsen-Cannarella SL, Fagoaga OR, Henson DA, Utter A, Davis JM, Williams F, and Butterworth DE (1998). Effects of mode and carbohydrate on the granulocyte and monocyte response to intensive, prolonged exercise. *J Appl Physiol* 84: 1252-1259
37. Potteiger JA, Chan MA, Haff GG, Mathew S, Schroeder CA, Haub MD, Chirathaworn C, Tibbetts SA, McDonald J, Omoike O, and Benedict SH (2001). Training status influences T-cell responses in women following acute resistance exercise. *J Strength Cond Res* 15: 185-191
38. Rasmussen BB, Tipton KD, Miller SL, Wolf SE, and Wolfe (2000). RR. An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol* 88: 386-392
39. Richter EA, Garetto LP, Goodman MN, and Ruderman NB (1984). Enhanced muscle glucose metabolism after exercise: Modulation by local factors. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 246: E476-E482
40. Romano B, Todd M, and Saunders M (2004). Effect of a 4:1 ratio carbohydrate/protein beverage on endurance performance, muscle damage and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 36: S126
41. Romano-Ely B, Todd M, Saunders M, and St. Laurent T (2006). Effect of an isocaloric carbohydrate-protein-antioxidant drink on cycling performance. *Med Sci Sports Exerc* 38: 1608-1616
42. Saunders M, Kane M, and Todd K (2004). Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc* 36: 1233-1238
43. Saunders MJ, Luden ND, and Herrick JE (2007). Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents postexercise muscle damage. *J Strength Cond Res* 21: 678-684
44. Spiller GA, Jensen CD, Pattison TS, Chuck CS, Whittam JH, and Scala J (1987). Effect of protein dose on serum glucose and insulin response to sugars. *Am J Clin Nutr* 46: 474-480
45. Tipton KD, Borsheim E, Wolf SE, Sanford AP, and Wolfe RR (2003). Acute response of net muscle protein balance reflects 24-h

- balance after exercise and amino acid ingestion. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 284: E76-E89
46. Tipton KD, Elliott TA, Cree MG, Aarsland AA, Sanford AP, and Wolfe RR (2007). Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 292: E71-E76
 47. Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE, and Wolfe RR (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 281: E197-E206
 48. Valentine RJ, Saunders MJ, Todd MK, and St. Laurent TG (2008). Influence of carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and indices of muscle disruption. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 18: 363-378
 49. van Hall G, Shirreffs SM, and Calbet JAL (2000). Muscle glycogen resynthesis during recovery from cycle exercise: No effect of additional protein ingestion. *J Appl Physiol* 88: 1631-1636
 50. Widrick JJ, Costill DL, McConell GK, Anderson DE, Pearson DR, and Zachwieja JJ (1992). Time course of glycogen accumulation after eccentric exercise. *J Appl Physiol* 72: 1999-2004
 51. Wilkinson SB, Phillips SM, Atherton PJ, Patel R, Yarasheski KE, Tarnopolsky MA, and Rennie MJ (2008). Differential effects of resistance and endurance exercise in the fed state on signalling molecule phosphorylation and protein synthesis in human muscle. *J Physiol* 586: 3701-3717
 52. Wilkinson SB, Tarnopolsky MA, MacDonald MJ, MacDonald JR, Armstrong D, and Phillips SM (2007). Consumption of fluid skim milk promotes greater muscle protein accretion after resistance exercise than does consumption of an isonitrogenous and isoenergetic soy-protein beverage. *Am J Clin Nutr* 85: 1031-1040
 53. Wojcik JR, Walber-Rankin J, Smith LL, and Gwazdauskas FC (2001). Comparison of carbohydrate and milk-based beverages on muscle damage and glycogen following exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 11: 406-419
 54. Zawadzki KM, Yaspelkis BB III, and Ivy JL (1992). Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol* 72: 1854-1859

Cita Original

John L. Ivy and Lisa M. Ferguson. Optimizing Resistance Exercise Adaptations through the Timing of Post-Exercise Carbohydrate-Protein Supplementation. *Strength and Conditioning Journal*, 32(1):30-36 (2010).