PubliCE, (PubliCE) 2003

Research

Efectos de las Bebidas de Recuperación sobre la Restauración del Glucógeno y el Rendimiento en el Ejercicio de Resistencia

Michael B Williams[1], Peter B Raven[1], Donovan L Fogt[2] y John L Ivy[2]

[1]Cardiovascular Research Institute, University of North Texas, Health Science Center at Fort Worth, Texas 76107.
[2]Exercise Physiology and Metabolism Laboratory, Department of Kinesiology and Health Education, University of Texas at Austin, Texas 78712.

RESUMEN

En el presente estudio se evaluaron las capacidades de restauración de bebidas altas en carbohidratos y proteínas (CHO-PRO) que contenían electrolitos y de las tradicionales bebidas deportivas al 6% de carbohidratos-electrolitos (SB), luego de la realización de ejercicios que tenían como objetivo la depleción glucogénica. En comparación con la SB, la ingesta de la bebida que contenía CHO-PRO resultó en un tiempo hasta el agotamiento 55% mayor durante el subsiguiente período de ejercicio al 85% del máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.). La mayor recuperación luego de la ingesta de la bebida con CHO-PRO podría deberse a la mayor tasa de almacenamiento de glucógeno muscular. Por lo tanto, el segundo estudio estuvo diseñado para investigar los efectos de la ingesta post ejercicio de los suplementos SB y CHO-PRO sobre la restauración del glucógeno muscular. Ocho ciclistas entrenados en resistencia (VO_2 máx. =62.1±2.2 ml/kg de peso corporal/min) realizaron dos pruebas que consistieron en 2 horas de pedaleo al 65-75% del VO_2 máx. que tenían como objetivo la depleción glucogénica. Inmediatamente y 2 horas después del ejercicio se les proporcionó a los ciclistas una bebida a base de carbohidratos y proteínas (355 ml; ~0.8 g de carbohidratos [CHO]/kg de peso corporal y ~0.2g de proteínas/kg de peso corporal) o la bebida SB (355 ml; ~0.3g de CHO/kg de peso corporal). Las pruebas se realizaron en orden aleatorio y estuvieron separadas por un período de 7-15 días. En comparación con la SB, la ingesta de la bebida a base de CHO-PRO resulto en una respuesta de la glucosa plasmática 17% mayor, en una respuesta de la insulina 92% mayor y en un almacenamiento de glucógeno 128% mayor ($p<0.05$) (159±18 y 69±32 µmol/g de peso seco para las CHO-PRO y SB, respectivamente). Estos hallazgos indican que la tasa de recuperación esta acoplada con la tasa de restauración de glucógeno muscular y sugiere que deberían consumirse suplementos en la recuperación para optimizar la síntesis de glucógeno muscular así como también el reemplazo de fluidos.

Palabras Clave: carbohidratos, proteínas, suplementos ergogénicos, insulina, glucosa

INTRODUCCIÓN

Las bebidas deportivas para la recuperación del ejercicio aeróbico prolongado están generalmente diseñadas para reemplazar las perdidas de agua y de electrolitos producidas por la secreción de sudor (28). Estas bebidas generalmente

contienen cantidades relativamente pequeñas de carbohidratos como para restaurar las reservas musculares y hepáticas de glucógeno, las cuales pueden también reducirse substancialmente durante el ejercicio aeróbico prolongado. Está bien establecido que hay una relación entre la concentración muscular de glucógeno y la resistencia aeróbica. Esta relación esta basada en la observación de que durante el ejercicio vigoroso prolongado la declinación en el glucógeno muscular está estrechamente ligada a la percepción de la fatiga y una vez que se ha producido una depleción substancial del glucógeno, es necesario finalizar el ejercicio o reducir significativamente la intensidad del mismo (1, 3, 14). Además, el incremento en la resistencia aeróbica luego del entrenamiento esta relacionada a una incrementada capacidad del músculo para almacenar glucógeno, así como también a un uso más eficiente del mismo (15, 17).

Debido a que la resistencia aeróbica esta estrechamente acoplada a la concentración de glucógeno muscular, se han desarrollado estrategias nutricionales para mejorar la síntesis de glucógeno durante la recuperación a corto plazo en la preparación para la realización de una nueva serie de ejercicios (18, 19, 27, 32, 35). Sin embargo, la efectividad de la restauración del glucógeno muscular durante la recuperación a corto plazo sobre el rendimiento en la subsiguiente serie de ejercicios no ha sido estudiada. Sin embargo, comparaciones entre la suplementación con carbohidratos y agua saborizada sugieren que la recuperación puede ser mejorada si las reservas de carbohidratos son restauradas. Por ejemplo, Wong y cols. (34) reportaron que el suministro de un suplemento al 6.9% de carbohidratos y electrolitos durante el periodo de 4 horas de recuperación post ejercicio incrementó el subsiguiente tiempo de carrera hasta el agotamiento en 24 minutos. Esto fue similar a la mejora de 22 minutos en el subsiguiente tiempo de carrera reportado por Fallowfield y cols. (12), cuando se les proporcionó a los sujetos 1.0 gramos de carbohidratos (CHO)/kg de peso corporal en una solución al 6.9% de carbohidratos y electrolitos inmediatamente y 2 horas después del ejercicio. Sin embargo, el efecto de proveer diferentes cantidades de carbohidratos durante la recuperación sobre el subsiguiente rendimiento es equivoco. Fallowfield y Williams (11) reportaron que el rendimiento aeróbico fue similar luego de un período de recuperación de 4 horas tanto con 1.0g de CHO/kg de peso corporal como con 3.0g de CHO/kg de peso corporal. De la misma manera, Wong y Williams (33) no pudieron hallar diferencias en el rendimiento aeróbico luego de proporcionarles a los sujetos 50 o 197g de carbohidratos durante el período de recuperación de 4 horas. Por lo tanto el propósito del primer estudio fue comparar la efectividad de un suplemento diseñado para restaurar rápidamente el glucógeno muscular, la bebida a base de carbohidratos y proteínas (CHO-PRO) (32, 35), con la tradicional bebida deportiva (SB) diseñada principalmente para la rehidratación. El tiempo hasta el agotamiento durante la segunda sesión de ejercicio aeróbico fue utilizado para valorar el grado de recuperación. El tiempo para la recuperación fue de 4 horas.

Los resultados indicaron que la bebida a base de CHO-PRO, cuando se la comparo con la tradicional SB, mejoraba la tasa de recuperación, como se pudo evidenciar a través del mayor tiempo de ejercicio hasta el agotamiento. Debido a que no se hallaron diferencias en el volumen plasmático o en los electrolitos entre los tratamientos, la diferencia en el rendimiento pudo deberse a la diferencia en las reservas musculares de glucógeno. Por ello, se realizó un segundo estudio para determinar si las diferencias en las reservas musculares de glucógeno durante el período de recuperación de 4 horas pudieron haber contribuido a la diferencia observada en el rendimiento aeróbico.

MÉTODOS

Enfoque Experimental al Problema

Los dos estudios fueron realizados para comparar la eficacia de dos tipos diferentes de suplementos, un suplemento diseñado para la rápida restauración del glucógeno muscular y la tradicional SB, sobre la recuperación luego de la realización de ejercicio aeróbico agotador. El estudio 1 fue realizado en la University of North Texas Health Sciences Center, Forth Worth, TX, y el estudio 2 fue realizado en el Univesity of Texas, Austin, TX. Para ambos estudios se utilizó un diseño aleatorio cruzado con cada sujeto sirviendo como su propio control. Debido a que los estudios 1 y 2 fueron realizados en sitios separados, fue necesario utilizar diferentes sujetos en cada estudio. La Figura 1 ilustra detalles de las líneas del tiempo para ambos estudios.

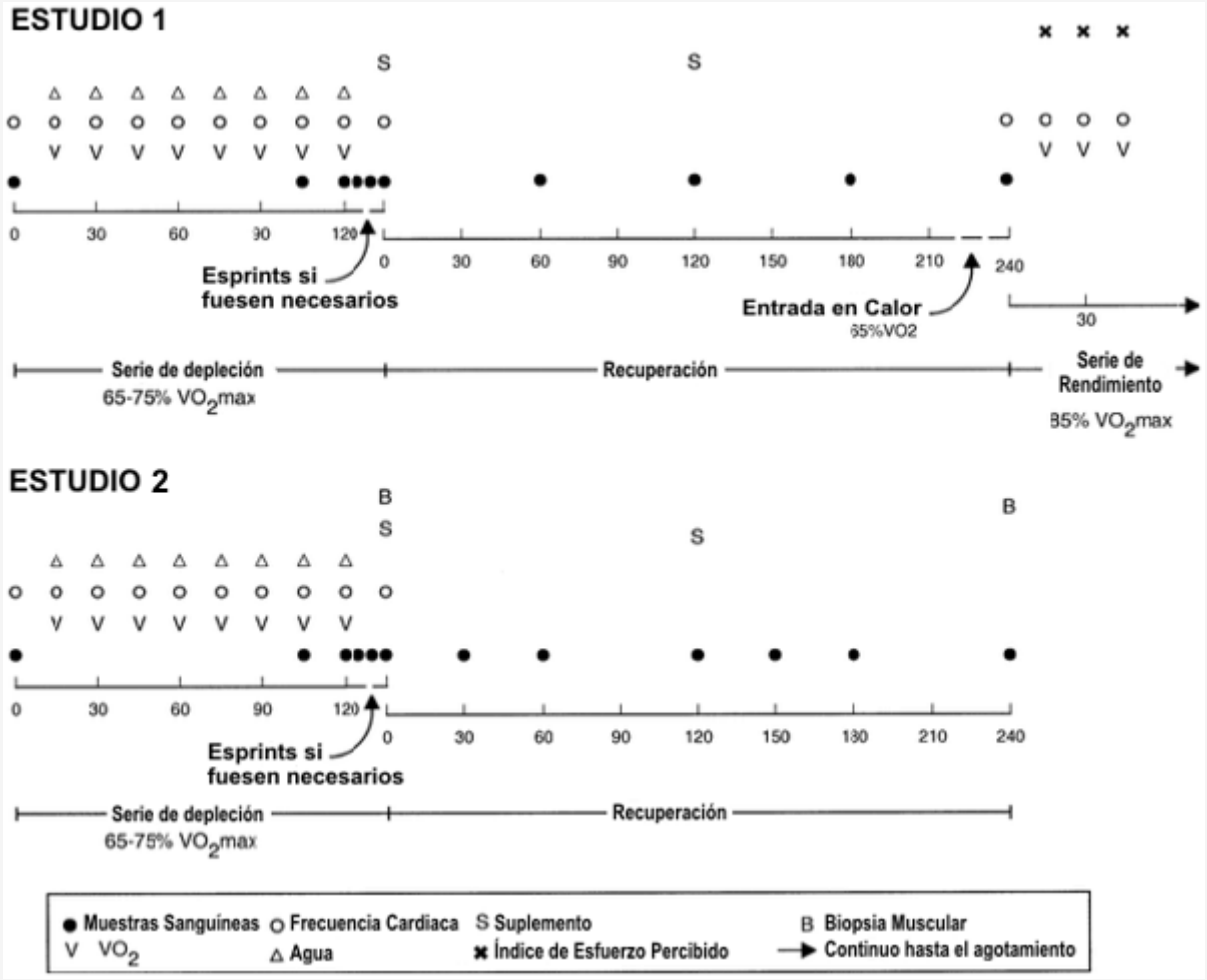


Figura 1*. Línea del tiempo para el estudio 1 y para el estudio 2. Se debe señalar que los efectos de los suplementos sobre el rendimiento se determinaron en el estudio 1 y sus efectos sobre el glucógeno muscular se determinaron en el estudio 2.*

Sujetos

Para el estudio 1 se reclutaron a ocho ciclistas varones entrenados. La media (±DS) para la edad, peso y consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.) fueron 28.4±1.3 años, 73.7±1.3 kg y 62.4±1.1 ml/kg de peso corporal/min; respectivamente. Para el estudio 2, se reclutaron a 8 ciclistas diferentes de los que participaron en el estudio 1. La media (±DS) para la edad, peso y VO_2 máx. de los sujetos del estudio 2 fueron 24.3±1.0 años, 67.3±1.3 kg y 62.1±2.2 ml/kg de peso corporal/min; respectivamente. El protocolo y los potenciales beneficios y riesgos asociados con la participación fueron explicados completamente antes de que cada sujeto firmara cualquier documento de consentimiento. El estudio 1 fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional para la Utilización de Sujetos Humanos de la Universidad de North Texas Health Science Center, mientras que el estudio 2 fue aprobado por el Comité de Revisión Institucional de la Universidad de Texas en Austin. Se les pidió a todos los sujetos que realizaran un registro del entrenamiento y de la dieta de la semana anterior a cada prueba experimental para estandarizar su actividad física y su dieta en los días previos a la evaluación. También se les pidió a los sujetos que ayunaran por 12 horas y que se abstuvieran de realizar actividades vigorosas y de ingerir bebidas que contuvieran alcohol por al menos 24 horas entes de la evaluación. Todas las pruebas experimentales fueron realizadas a una temperatura ambiente de 20±1 ºC.

EvaluaciónPreliminar

El VO_2 máx. se determinó utilizando un test de ejercicio continuo realizado en un cicloergómetro con cupla magnética (Ergometrics 800-S, Sensormedics, Ergo-line GmbH, Bitz, Alemania). El protocolo consistió en una entrada en calor de 4 minutos y a partir de allí etapas de 2 minutos comenzando con una carga de 200 W e incrementando la misma en 50 W en cada etapa hasta los 350 W. Luego de los 350 W, la carga fue incrementada en 25 W a cada minuto. Los criterios para confirmar que se había alcanzado el VO_2 máx. fueron un índice de intercambio respiratorio mayor que 1.1 y un incremento en el VO_2 máx. menor a 0.2 L/min por sobre la carga previa.

Protocolo Experimental

Luego de la evaluación preliminar, cada sujeto realizó 2 tratamiento experimentales aleatorios separados por 7-15 días. En el estudio 2, se realizó una práctica de 2 horas para ajustar y verificar la intensidad apropiada de ejercicio para cada prueba experimental. En otras palabras, las evaluaciones para el estudio 1 y para el estudio 2 fueron esencialmente las mismos excepto donde se señaló (Figura 1). En el día del experimento, los sujetos se reportaron al laboratorio 30 minutos antes del comienzo del ejercicio. Fueron pesados y se les colocó un monitor de frecuencia cardiaca (Polar Beat, Polar Electro Oy, Finlandia). A continuación se les insertó a los sujetos un catéter con una aguja de 20 en la vena mayor del antebrazo y se la mantuvo abierta con una solución salina estéril. Una vez que el catéter era colocado los sujetos subían al cicloergómetro. Luego de que los sujetos habían permanecido sentados sobre el cicloergómetro por varios minutos, se recolectó una muestra de sangre en reposo (5 ml), se registró la frecuencia cardiaca, y a continuación comenzó el ejercicio. Los sujetos pedalearon sobre el cicloergómetro durante 2 horas al 65-75% del VO_2 máx. para depletar el glucógeno muscular y para reducir el nivel de glucosa sanguínea. Para verificar que los sujetos estuvieran trabajando a la intensidad apropiada, se determinó el VO_2 durante los últimos 4 minutos de cada intervalo de 15 minutos. Las muestras de sangre fueron recolectadas luego de 105 minutos de ejercicio para determinar si la glucosa sanguínea había disminuido por debajo del nivel predeterminado de 4 mmol/L. Si la glucosa sanguínea no se había reducido por debajo de los 4 mmol/L al final de las 2 horas, los sujetos realizaban esprints de 5 minutos de duración al 85% del VO_2 máx. interespaciados por 5 minutos al 75% del VO_2 máx. hasta que se alcanzara la concentración de glucosa sanguínea apropiada. El número máximo de esprints requeridos para reducir la concentración de glucosa sanguínea por debajo de los 4 mmol/L fue de 4. Todos los sujetos realizaron el mismo número de esprints en cada uno de los tratamientos. Para minimizar el estrés térmico, se hizo circular aire sobre los sujetos con un ventilador de pie, y se les suministró agua (2 ml/kg de peso corporal) cada 15 minutos de ejercicio. Inmediatamente después del ejercicio y nuevamente 2 horas después del ejercicio, los sujetos recibieron 355 ml de una bebida a base de CHO-PRO (Endurox R4, PacificHealth Laboratories, Woodbridge, NJ) o 355 ml de la bebida tradicional SB al 6% de carbohidratos (Gatorade, The Gatorade Company, Chicago, IL). La Endurox R4 fue elegida debido a que la adición de proteínas al suplemento de carbohidratos incrementa la concentración plasmática de insulina y promueve una rápida restauración del glucógeno muscular luego del ejercicio (32, 35). El Gatorade fue elegido debido a que es considerado una bebida deportiva quintaesencial.

Ingredientes de los Suplementos

La porción sugerida por el fabricante (355 ml) de la bebida a base de CHO-PRO contenía 53g de carbohidratos y 14g de proteínas (incluyendo 0.42g de L-glutamina y 1.42g de L-arginina), proveyendo de ~0.8g de CHO/kg de peso corporal y de ~0.2g de proteínas/kg de peso corporal. La porción equivalente de SB (355 ml) proporcionó 21g de carbohidratos (~0.3 g/kg de peso corporal) y no contenía proteínas. De esta manera, durante el período de 4 horas de recuperación los sujetos recibieron 106g de carbohidratos (~0.40 g. kg de peso corporal^{1}. h^{1}) y 28g de proteínas (~0.10 gr. kg de peso corporal^{1}. h^{1}) con la bebida CHO-PRO mientras que recibieron solamente 42g de carbohidratos (~0.15g de CHO. kg de peso corporal^{1}. h^{1}) con la SB. Los detalles de los macro y micro nutrientes para cada suplemento son presentados en la tabla 1.

Ingredientes (por 355 ml)	Suplementos	
	Endurox R4	Gatorade
Carbohidratos (g) *	53.0	21.0
Proteínas (g)	14.0	0
Grasas (g)	1.5	0
Sodio (mg)	230	165
Potasio (mg)	140	45
Calcio (mg)	100	0
Magnesio (mg)	250	0
Hierro (mg)	2	0
Clorhidratos (mg)	270	145
Vitamina C (mg)	470	0
Vitamina E (IU)	400	0
Glutamina (mg)	420	0
Arginina (g)	1.4	0

***Tabla 1**. Comparación de los ingredientes de los suplementos. * Los carbohidratos para el Endurox R4 consisten de sucrosa, maltodextrina y fructosa. Para el Gatorade, los carbohidratos consisten de sucrosa, glucosa y fructosa. Las kilocalorías totales en 355 ml de Endurox R4 y de Gatorade son 280 y 75, respectivamente.*

Serie de Rendimiento (Estudio 1)

Los sujetos fueron preparados para la serie de rendimiento durante los últimos minutos del período de recuperación. Los sujetos realizaron una entrada en calor de 10 minutos a una intensidad del 65% del VO_2 máx., seguida por el ejercicio hasta el agotamiento al 85% del VO_2 máx. Todos los dispositivos de control del tiempo fueron retirados de la vista de los sujetos para no influenciar su rendimiento. Además, no se les permitió a los sujetos pararse sobre los pedales mientras pedaleaban. Durante los primeros 5-10 minutos, se valoró el VO_2 para determinar si se necesitaban realizar ajustes para mantener la intensidad del ejercicio al 85% del VO_2 máx. Si era necesario un ajuste en los watts, el mismo era registrado para permitir duplicar del ajuste durante la siguiente prueba experimental. Los sujetos fueron fuertemente estimulados para que continuaran ejercitándose tanto como fuera posible. Los índices de esfuerzo percibido fueron medidos utilizando la Escala de Borg (4), la cual ha sido validada con la frecuencia cardiaca y es una valoración cognitiva de la percepción del estrés provocado por el ejercicio. El rendimiento fue cuantificado como el tiempo hasta el agotamiento siendo el agotamiento definido como el punto en el cual la cadencia de pedaleo caía por debajo de 60 rpm por más de 5 segundos.

Mediciones Fisiológicas y Análisis de los Tejidos

En el estudio 1, el VO_2 fue continuamente monitoreado mediante un espectrofotómetro de masas (Perkin-Elmer MGA-1100A, Norwalk, CT) así como también se monitoreo la frecuencia cardiaca. Durante la evaluación el espetrofotómetro de masas fue calibrado periódicamente. Las muestras de sangre (5 ml) fueron recolectadas en tubos heparinizados antes e inmediatamente después de la serie para depletar glucógeno y durante los minutos 60, 120, 180 y 240 del período de recuperación. Las concentraciones sanguíneas de sodio (mmol/L), potasio (mmol/L), calcio (mmol/L), el hematócrito (%) y la hemoglobina (g/L) fueron medidas con instrumental IL System 35 (Instrumentation Laboratory Co., Lexington, MA). El porcentaje de cambio en el volumen plasmático fue determinado utilizando el método de Dill y Costill (9).

En el estudio 2, el VO_2 fue monitoreado con un sistema computarizado de análisis de gases en circuito abierto (Max-1 Physio-Dyne Instruments Corporation, Quogue, NY). Al igual que con el espectrofotómetro, el sistema para el análisis de gases fue calibrado periódicamente durante las evaluaciones. Las muestras de sangres (5 ml) fueron recolectadas antes, inmediatamente después del ejercicio y en los minutos 30, 60, 120, 150, 180 y 240 luego de la ingesta del primer suplemento después del ejercicio. Cuatro mililitros de sangre fueron transferido a un tubo de ensayo enfriado que contenía ácido etilenediaminetetraacético (24 mg/ml, pH 7.4). De este tubo, 0.5 ml de sangre fueron transferidos a un tubo que contenía 1 ml de ácido perclórico al 8%. Los extractos de las muestras de plasma y ácido fueron recuperados por medio de la centrifugación (15 minutos a 1000 g) y guardados a –80 ºC. Se obtuvieron dos muestras musculares por medio de biopsia en el músculo vasto lateral de acuerdo con la técnica de Bergström (2). La primera biopsia se realizó en los primeros tres minutos luego de finalizada la prueba para depletar el glucógeno y la segunda luego de las 4 horas del período de recuperación. Luego de administrar anestesia local (1% Lidocaína-HCl, Elkins-Sinn, Inc., Cherry Hill, NJ) se realizó una incisión de 8 mm a través de la piel y la fascia, a 2 pulgadas de la línea media del muslo y a 4 pulgadas por encima de la rótula. La incisión inicial fue utilizada para ambos procedimientos de la biopsia tomando siempre la primera muestra de biopsia en forma distal a la segunda. Las muestras fueron limpiadas del tejido adiposo y conectivo, congeladas en nitrógeno líquido y guardadas a –80 ºC para la subsiguiente determinación de la concentración de glucógeno.

La glucosa plasmática fue analizada utilizando la reacción de Trinder (kit model 315, Sigma Chemical, St. Louis, MO). La concentración plasmática de insulina fue determinada por medio de radioinmunoensayo con la utilización del procedimiento de doble anticuerpo (kit modelHI-14K, Linco Inc., St. Charles, MO). La sensibilidad de este ensayo es 2 µU/ml, su selectividad para la insulina humana es del 100% y su habilidad de recuperación es del 95-100%. Las muestras de insulina fueron contabilizadas con un contador Gamma 5500 (Beckman Instruments, Inc., Fullerton, CA). La concentración de lactato sanguíneo se determinó espectrofotométricamente (Beckman DU 640, Beckman) sobre extractos de ácido de acuerdo al procedimiento enzimático de Hohorst (16). Para la determinación del glucógeno las muestras de biopsias fueron pesadas, liofilizadas durante la noche, repesadas, y digeridas con 0.5 ml de KOH 1 N durante 20 minutos a 70 ºC. El digesto fue entonces neutralizado con 0.5 ml de 1 N HCl. Para hidrolizar el glucógeno muscular en unidades de glucosa, una alícuota del digesto muscular fue transferida e incubada durante la noche en el amortiguador acetato de sodio 0.3 M, pH 4.8 que contenía 5 mg/ml de amiloglucosidasa (Mannheim Boehinger, Alemania). La concentración de glucógeno se determinó fluorométricamente (Fluorometer-A4, Farrand Optical Co., Inc., Valhalla, NY) utilizando un ensayo enzimático (25) y presentándolo relativo al peso muscular seco. Todos los ensayos fueron realizados en duplicado.

Análisis Estadísticos

Los datos de los estudios 1 y 2 fueron analizados utilizando análisis de varianza para medidas repetidas de una y dos vías dependiendo de la variable analizada. Los análisis post hoc fueron realizados utilizando el test de Fischer de la menor diferencia significativa. La significancia estadística fue establecida al nivel de probabilidad de 0.05 para todos los tests.

RESULTADOS

Estudio 1

Tiempo de Rendimiento

Los tiempos promedio de rendimiento luego de la ingesta de CHO-PRO y SB fueron 31.1±3.2 y 20.0±2.0 minutos, respectivamente (Figura 2). Uno de los sujetos mostró una reducción del tiempo hasta el agotamiento durante el tratamiento con CHO-PRO en comparación con el tratamiento con SB. A pesar de esto, el consumo post ejercicio de la bebida a base de CHO-PRO resulto en un incremento del 55% en el tiempo de rendimiento en comparación con el mismo volumen de SB ($p<0.05$). No hubo diferencias en la VE, VO_2, frecuencia cardiaca o en el índice de intercambio respiratorio cuando se compararon las series con CHO-PRO y SB ($p<0.05$). Además, los índices de esfuerzo percibido y la frecuencia cardiaca no fueron estadísticamente diferentes cuando se compraron los primeros y los últimos 5 minutos de cada prueba de rendimiento realizada luego de la ingesta de los suplementos. Sin embargo, a los 20 minutos de la prueba de rendimiento, los sujetos que habían ingerido SB indicaron que estaban en el límite superior del índices de esfuerzo percibido (19.3±0.4), mientras que los sujetos que habían ingerido la bebida a base de CHO-PRO estaban a un menor índice de esfuerzo percibido (18.4±0.4) y fueron capaces de continuar ejercitándose ($p<0.05$).

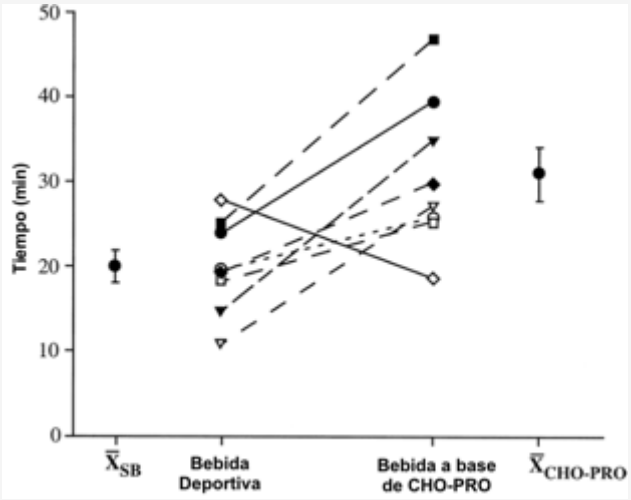


***Figura 2**. Datos individuales de los sujetos e incremento medio en el tiempo hasta el agotamiento en el subsiguiente período de ejercicio. Se debe señalar que uno de los sujetos tuvo una disminución en el tiempo de rendimiento durante el tratamiento con carbohidratos-proteínas (CHO-PRO). Sin embargo, el incremento medio represento una ganancia del 55% en el tiempo de rendimiento para la bebida a base de CHO-PRO ($X_{CHO-PRO}$) vs. la bebida deportiva (X_{SB}) ($p<0.05$).*

Peso Corporal y Variables Sanguíneas

El peso corporal no fue significativamente diferente entre los tratamientos tanto antes del ejercicio (74.3±1.5 kg CHO-PRO vs. 74.1 kg SB) como inmediatamente después del ejercicio (72.9±1.4 kg CHO-PRO vs. 72.5±1.4 kg SB) o después del período de recuperación (73.4±1.3 kg CHO-PRO vs. 73.0±1.2 kg SB). Los cambios en el volumen plasmático (Tabla 2) durante los tratamientos con CHO-PRO y SB fueron también similares. Además, los efectos de estos tratamientos sobre el sodio, potasio, hematócrito y hemoglobina no difirieron durante la recuperación.

Variable	Tratamiento	Tiempo					
		Ejercicio		Recuperación (min)			
		Antes	Después	60	120	180	240
Na^+ (mmol/L)	CHO-PRO	137.0±0.6	141.8±1.3	137.9±1.4	138.4±1.0	137.5±0.9	137.0±0.8
	SB	137.5±0.7	141.6±1.3	138.6±1.2	137.6±1.0	136.6±1.1	136.8±0.7
K^+ (mmol/L)	CHO-PRO	3.84±0.10	4.27±0.08	4.09±0.08	3.91±0.09	3.74±0.08	3.85±0.11
	SB	3.81±0.06	4.18±0.08	4.18±0.07	4.08±0.08	3.96±0.09	3.86±0.04
Hct (%)	CHO-PRO	41.5±0.7	46.4±1.2	39.5±1.2	39.8±1.2	38.5±0.9	41.8±1.0
	SB	42.1±1.3	45.9±1.2	40.6±1.4	38.8±1.1	38.7±1.0	42.4±0.9
Hb (gr/L)	CHO-PRO	141±2	155±4	139±4	136±2	133±3	138±3
	SB	143±4	154±3	138±3	136±2	134±2	138±3
PV (% de cambio)	CHO-PRO		-16.5±2.4	5.5±3.1	7.0±3.2	11.4±2.3	1.8±2.7
	SB		-13.8±2.6	7.4±5.4	12.5±5.3	14.1±4.4	4.2±4.3

Tabla 2. *Variables sanguíneas durante el ejercicio y durante el período de recuperación. * Los valores son presentados como medias±DS. Hct=hematócrito; Hb=hemoglobina, PV=Volumen plasmático; CHO-PRO=carbohidratos-proteínas; SB=Bebida deportiva.*

Estudio 2

Glucosa Plasmática, Insulina y Lactato Sanguíneo

No hubo diferencias en las concentraciones plasmáticas de glucosa durante los dos tratamientos tanto antes (4.2±0.1 mmol/L) como después del ejercicio para depletar glucógeno (3.4±0.2 mmol/L) (Figura 3). Sin embargo, 30 minutos después de la ingesta del primer suplemento, los niveles de glucosa se incrementaron en un 43.2% por encima de la concentración pre ejercicio en el tratamiento con CHO-PRO y en un 18.5% sobre la concentración pre ejercicio en el tratamiento con SB. Treinta minutos antes de la ingesta del segundo suplemento, los niveles de glucosa estaban 43.2% y 12.7% por encima de los niveles pre ejercicio en los tratamientos CHO-PRO y SB, respectivamente. Las concentraciones plasmáticas de glucosa durante el tratamiento con CHO-PRO se elevaron significativamente ($p<0.05$) por encima de los valores del tratamiento con SB a los 60 minutos luego de la suplementación inicial y a los 30 y 60 minutos luego de la segunda suplementación, i.e., 150 y 180 minutos luego del ejercicio. De esta manera, la ingesta de la bebida a base de CHO-PRO resulto en una respuesta de la glucosa plasmática 17% mayor (área incremental bajo la curva) en comparación con el suplemento SB. Las concentraciones plasmáticas de glucosa retornaron a valores más bajos con respecto a los valores antes del ejercicio tanto en el tratamiento con CHO-PRO (3.6±0.3 mmol/L) como en el tratamiento con SB (3.4±0.2 mmol/L) al final del período de recuperación de 4 horas.

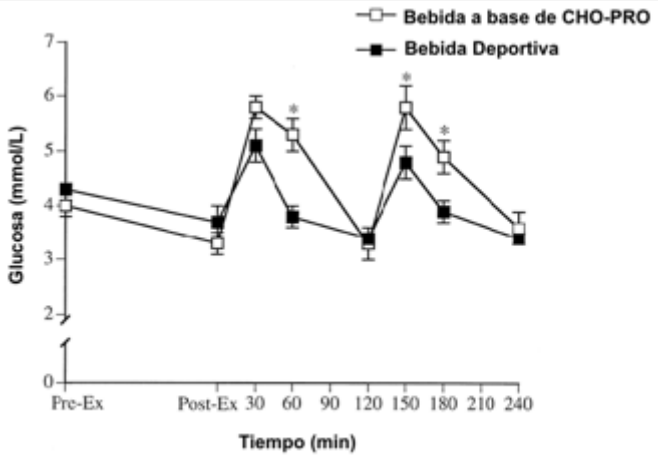


Figura 3. *Concentraciones de glucosa plasmática antes y al final de las 2 horas de ejercicio y durante el período de recuperación de 4 horas para los sujetos que recibieron la bebida a base de carbohidratos y proteínas o la bebida deportiva (SB). Los suplementos fueron proporcionados inmediatamente y 2 horas después del ejercicio. Los valores son presentados como medias ±DS. * Significativamente diferente con respecto a SB.*

Los niveles plasmáticos de insulina fueron similares entre los tratamientos antes e inmediatamente después del ejercicio (Figura 4). Sin embargo, la concentración de insulina en el tratamiento con CHO-PRO se elevó significativamente por encima de los valores de la concentración de insulina en el tratamiento con SB a los 30 y 60 minutos luego de la ingesta del suplemento. La ingesta de la bebida a base de CHO-PRO resultó en una respuesta de la insulina un 92% mayor (área incremental bajo la curva) en comparación con la ingesta de SB. Las concentraciones de insulina retornaron a valores cercanos a anteriores al ejercicio en ambos tratamientos al final del período de recuperación de 4 horas.

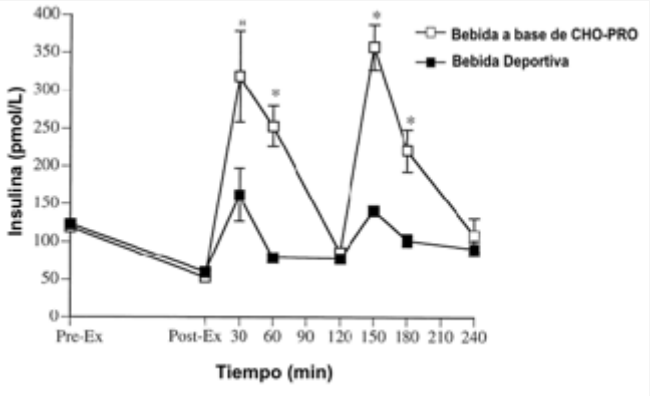


***Figura 4**. Concentraciones plasmáticas de insulina antes y al final de las 2 horas de ejercicio y durante el período de recuperación de 4 horas para los sujetos que recibieron la bebida a base de carbohidratos y proteínas o la bebida deportiva (SB). Los suplementos fueron proporcionados inmediatamente y 2 horas después del ejercicio. Los valores son presentados como medias±DS. * Significativamente diferente con respecto a SB.*

Las concentraciones de lactato sanguíneo pre ejercicio para los 2 tratamientos fueron similares. Durante el ejercicio, el lactato sanguíneo se incremento desde un promedio de 1.70±0.14 a 8.93±0.79 mmol/L. Las concentraciones sanguíneas de lactato no fueron diferentes entre los tratamientos inmediatamente después del ejercicio o durante el período de recuperación de 4 horas.

Almacenamiento de Glucógeno Muscular

Las concentraciones musculares de glucógeno fueron similares para ambos tratamientos inmediatamente después del ejercicio (Tabla 3). Durante el período de recuperación de 4 horas, la tasa de almacenamiento de glucógeno muscular fue de 33.7±4.5 µmol/g de peso seco/hora para el tratamiento con CHO-PRO y 17.4±5.2 µmol/g peso seco/hora para el tratamiento con SB. De esta manera, la tasa de almacenamiento de glucógeno durante el tratamiento con CHO-PRO fue un 12.8% mayor que durante el tratamiento con SB ($p<0.05$).

	Luego del Ejercicio	Luego de la Recuperación	Δ
CHO-PRO	227±32	386±35 *	159±18 *
Bebida Deportiva	236±24	305±32	69±32

***Tabla 3**. Concentraciones de glucógeno muscular (µmol/gr de peso seco) en las muestras de biopsia muscular tomadas en el vasto lateral, inmediatamente después del ejercicio y después del período de recuperación de 4 horas. Los valores son presentados como medias±DS. CHO-PRO representa la bebida con carbohidratos y proteínas que contenía ~15g de carbohidratos y ~4g de proteínas cada 100 ml. La bebida deportiva contenía ~6g de carbohidratos cada 100 ml. La recuperación duró 4 horas. Δ representa la diferencia entre los niveles de glucógeno post ejercicio y post recuperación. También refleja la diferencia en el glucógeno funcional luego de la recuperación. * Indica diferencias significativas entre los tratamientos ($p<0.05$).*

DISCUSIÓN

Fallowfield y cols. (12) fueron los primeros en demostrar que la suplementación con una bebida a base de carbohidratos y electrolitos luego del ejercicio prolongado mejoraba el proceso de recuperación. A los sujetos que participaron en su estudio se les proporcionó una bebida al 6.9% de CHO-electrolitos que contenía 1g de CHO/kg de peso corporal o un volumen igual de placebo inmediatamente y 2 horas después de 90 minutos de carrera al 70% de VO_2 máx. Se les permitió a los sujetos recuperarse durante un período de 4 horas antes de la subsiguiente carrera al 70% del VO_2 máx. hasta el agotamiento. Durante la carrera hasta el agotamiento, los sujetos que recibieron la bebida con CHO-electrolitos corrieron aproximadamente 22 minutos más que aquellos que recibieron placebo. Posteriormente Wong y cols. (34) reportaron hallazgos similares. De esta manera, la ingesta de una bebida con CHO y electrolitos es una forma efectiva de restaurar la capacidad de resistencia cuando el tiempo de recuperación es limitado.

En el presente estudio, hemos comparado los efectos de una bebida alta en CHO-PRO que contenía electrolitos con la bebida deportiva tradicional SB al 6% de CHO-electrolitos, sobre la recuperación a corto plazo. La administración de la bebida que contenga una alta concentración de carbohidratos y proteínas puede acelerar el proceso de recuperación. Esto se evidenció por nuestro hallazgo de que los sujetos fueron capaces de pedalear un 55% más luego de recibir la bebida con CHO-PRO en comparación con la bebida tradicional SB. De esta manera, los resultados extienden los hallazgos de Fallowfield y cols. (12) y de Wong y cols. (34) y sugieren que el período de recuperación puede ser acelerado más allá del producido por la bebida tradicional SB si se proporcionan carbohidratos adicionales.

La intensidad de la serie de rendimiento fue de un 85% del VO_2 máx. Esta intensidad de ejercicio es significativa debido a que no puede ser mantenida a menos que se posea la suficiente reserva de glucógeno muscular (3, 6), y sugiere que el mayor tiempo de rendimiento luego de la suplementación con CHO-PRO se debió a una mayor restauración de las reservas de glucógeno muscular. Para evaluar esta hipótesis, se diseñó un segundo estudio para comparar los efectos de la suplementación con una bebida alta en CHO-PRO versus la bebida SB al 6% de CHO sobre la restauración del glucógeno muscular. Luego del tratamiento con CHO-PRO la restauración del glucógeno muscular fue un 125% mayor que con el tratamiento con SB. Por lo tanto, a la luz de la fuerte relación entre la resistencia aeróbica y las reservas musculares de glucógeno, la mejora en el rendimiento luego de la recuperación con CHO-PRO puede estar directamente relacionada con el mayor contenido muscular de glucógeno.

La bebida con CHO-PRO utilizada en el presente estudio contenía 2.7 veces la cantidad de carbohidratos (106 g/740 ml) hallada en la SB (40 g/740 ml). De esta manera, el suplemento CHO-PRO proporcionó ~0.8g de CHO/kg de peso corporal inmediatamente y 2 horas después del ejercicio, mientras que la SB proporcionó ~ 0.3g de CHO/kg de peso corporal. Además de la mayor concentración de carbohidratos, el suplemento a base de CHO-PRO contenía proteínas y arginina, los cuales son fuertes estimulantes de la secreción de insulina (10, 24, 29, 32, 35). La efectividad de un suplemento con carbohidratos para mejorar la restauración del glucógeno muscular luego del ejercicio está relacionada con la concentración de carbohidratos en el suplemento y también con la respuesta que provoca sobre la insulina pancreática (32, 35). En efecto, en el presente estudio, la ingesta de la bebida a base de CHO-PRO resultó en una concentración plasmática de glucosa un 17% mayor y en una respuesta de la insulina un 92% mayor que el tratamiento con SB. De esta manera, la mayor tasa de almacenamiento de glucógeno observada durante el tratamiento con CHO-PRO en comparación con la SB fue probablemente consecuencia de una mayor disponibilidad de carbohidratos así como también de una mayor respuesta de la insulina.

Hasta el momento no se puede precisar si la adición de proteínas contribuye a la mayor tasa de almacenamiento de glucógeno muscular (5, 31, 32, 35). Sin embargo, hay una ventaja adicional de adicionar proteínas y aminoácidos a los suplementos con carbohidratos, la cual es la estimulación de la acumulación de proteínas (20, 26, 30). Eso ocurre debido a la estimulación de la síntesis de aminoácidos (20, 30) y a la inhibición de la degradación proteica post ejercicio mediada por la insulina (26).

Es importante señalar que aunque la concentración total de glucógeno muscular luego del período de recuperación de 4 horas fue estadísticamente diferente entre los tratamientos con CHO-PRO y con SB, esta representó una diferencia en el glucógeno total de solamente un 26% (Tabla 3). Sin embargo, el glucógeno total no representa el glucógeno funcional, el cual puede ser definido como la concentración de glucógeno que puede ser realmente utilizada. El glucógeno funcional puede ser determinado calculando la diferencia entre el glucógeno total y el glucógeno remanente luego del agotamiento. Por ello, antes de la prueba de rendimiento pareció haber aproximadamente dos veces más glucógeno funcional disponible durante el tratamiento con CHO-PRO en comparación con el tratamiento con SB (Tabla 3).

Los hallazgos actuales difieren de los hallados por Fallowfield y Williams (11) y por Wong y Williams (33). Fallowfield y Williams (11) no hallaron diferencias en el rendimiento durante el ejercicio post recuperación cuando se administraron 1.0

o 3.0g de CHO/kg de peso corporal inmediatamente y luego de 2 horas de finalizado el ejercicio, durante el período de recuperación de 4 horas. De la misma manera, Wong y cols. (34) reportaron que los sujetos a los cuales se les proporcionó 50 o 167g de CHO durante el período de recuperación de 4 horas tuvieron rendimientos similares en el ejercicio post recuperación. Con respecto al estudio de Fallowfield y Williams (11), pudo no haber diferencias en las reservas musculares de glucógeno post recuperación. La tasa de almacenamiento de glucógeno luego del ejercicio es esencialmente la misma cuando de administran 1.0 o 3.0g de CHO/kg de peso corporal a intervalos de 2 horas (19). De esta manera, la recuperación no sería afectada en forma diferente por los suplementos de carbohidratos cuando exceden 1.0 gr/kg. Sin embargo, esta explicación, no puede explicar los hallazgos de Wong y Williams (33) debido a que se esperarían diferencias en el almacenamiento de glucógeno entre suplementos con 50 y 167g de CHO. Una posibilidad para los diferentes resultados hallados en este estudio y los de Wong y Williams (33) puede residir en la intensidad del ejercicio utilizada para valorar el grado de recuperación. Para sostener la intensidad de ejercicio utilizada en el presente estudio, el glucógeno muscular es esencial (3, 6). Sin embargo, la intensidad de ejercicio utilizada por Wong y Williams (33), la cual fue del 70% del VO_2 máx., puede ser sostenida simplemente manteniendo los niveles de glucosa plasmática dentro del rango normal aun cuando las reservas de glucógeno han sido depletadas (8). De esta manera, la diferencia entre los resultados del presente estudio y los de Wong y Williams (33) puede ser explicada por la diferencia en la dependencia en el glucógeno muscular como sustrato durante las series de rendimiento.

Además de restaurar las reservas corporales de carbohidratos, las bebidas deportivas están formuladas para compensar los efectos de la deshidratación, i.e., el remplazo de fluidos y electrolitos perdidos con el sudor. La adición de carbohidratos y electrolitos, i.e., sodio, clorhidratos y potasio, a la bebida incrementaran la fracción de fluido ingerido que es retenido, atenuando la gran producción de orina y resultando en una mayor restauración del volumen plasmático en comparación con la ingesta de agua (7, 13, 21-23). En el presente estudio, la ingesta de 740 ml de la bebida a base de CHO-PRO o de 740 ml de SB resultó en una restauración similar de los electrolitos y de los fluidos, sin diferencias significativas en el volumen plasmático o en el peso corporal durante la recuperación. De esta manera, el consumo de un suplemento a base de CHO-PRO induce la restauración del glucógeno y un mayor rendimiento en comparación con la bebida tradicional SB sin impedir la rehidratación y la restauración de electrolitos. En la actualidad es desconocido si el suplemento a base de CHO-PRO sería tan efectivo como el suplemento tradicional SB luego de la realización de ejercicios que resultaran en un estado de deshidratación substancialmente mayor.

Aplicaciones Prácticas

En este estudio se comparó la efectividad de un suplemento alto en CHO-PRO y electrolitos con la bebida tradicional SB para promover la recuperación luego de la realización de un ejercicio aeróbico prolongado. La tasa de recuperación fue significativamente más rápida luego de la ingesta del suplemento CHO-PRO en comparación con la SB. Este incremento en la recuperación parece estar relacionado con una tasa incrementada de restauración del glucógeno muscular, pero hasta el momento no pueden desecharse otras posibilidades. Aunque se ha propuesto que una tasa de restauración de glucógeno muscular incrementada luego del ejercicio mejoraría el proceso de recuperación, para nuestro conocimiento este es el primer estudio que respalda tal hipótesis. De esta manera, nuestros resultados sugieren fuertemente que la recuperación luego del ejercicio aeróbico prolongado es mayor con un suplemento que pueda incrementar rápidamente las reservas musculares de glucógeno a la vez que reemplaza el agua perdida y los electrolitos. Se debería enfatizar que la rehidratación es la preocupación principal si durante el ejercicio se pierden cantidades sustanciales de agua y electrolitos. Sin embargo, esto puede resolverse consumiendo suplementos adicionales de fluido y electrolitos luego de iniciado el proceso de resíntesis de glucógeno.

El suplemento a base de CHO-PRO puede también proveer un estímulo anabólico substancial debido a su capacidad para promover la síntesis de proteínas musculares y de reducir la degradación proteica post ejercicio. Esto incrementa la acumulación neta de proteínas y posiblemente acelera la reparación del tejido dañado durante el ejercicio intenso sostenido.

Debería enfatizarse que los suplementos a base de CHO-PRO como el utilizado en este estudio son mejores cuando se utilizan luego de ejercicios que resulten en una depleción substancial de las reservas musculares de glucógeno. Los ejercicios que no producen un estrés sobre las reservas musculares de combustibles o que no resulten en daños musculares no requieren esta cantidad de carbohidratos y proteínas para la recuperación.

Agradecimientos

Queremos agradecer a Zhenping Ding por su excelente asistencia técnica. Este estudio estuvo respaldado por un subsidio para investigación de los Pacific Health Laboratories, Inc., Woodbridge, NJ.

Dirección para el envío de correspondencia

Dr. John L. Ivy; correo electrónico: johnivy@mail.utexas.edu

REFERENCIAS

1. Borg, G.A (1982). Psychophysical basis of perceived exertion. *Med. Sci. Sport Exerc. 14:377–381*
2. Carrithers, J.A., D.L. Williamson, P.M. Gallagher, M.P. Godard, K.E. Schulze, and S.W. Trappe (2000). Effects of postexercise carbohydrate-protein feedings on muscle glycogen restoration. *J. Appl. Physiol. 88:1976–1982*
3. Coggan, A.R., and E.F. Coyle (1988). Effect of carbohydrate feedings during high-intensity exercise. *J. Appl. Physiol. 65:1703–1709*
4. Costill, D.L., and K.E. Sparks (1973). Rapid fluid replacement following thermal dehydration. *J. Appl. Physiol. 34:299–303*
5. Coyle, E.F., A.R. Coggan, M.K. Hemmert, and J.L. Ivy (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J. Appl. Physiol. 61:165–172*
6. Dill, D.B., and D.L. Costill (1974). Calculation of percentage changes in volumes in blood, plasma and red cells in dehydration. *J. Appl. Physiol. 37:247–248*
7. Fajans, S.S., J.C. Floyd Jr., R.F. Knopf, and J.W. Conn (1967). Effect of amino acids and proteins on insulin secretion in man. *Recent Prog. Horm. Res. 23:617–662*
8. Fallowfield, J.L., and C. Williams (1997). The influence of a high carbohydrate intake during recovery from prolonged, constant-pace running. *Int. J. Sport Nutr. 7:10–25*
9. Fallowfield, J.L., C. Williams, and R. Singh (1995). The influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte beverage during 4 hours of recovery on subsequent endurance capacity. *Int. J. Sport Nutr. 5:285–299*
10. Gonzalez-Alonzo, J., C.L. Heaps, and E.F. Coyle (1992). Rehydration after exercise with common beverages and water. *Int. J. Sports Med. 13:399–406*
11. Hermansen, L., E. Hultman, and B. Saltin (1967). Muscle glycogen during prolonged severe exercise. *Acta Physiol. Scand. 71:334–346*
12. Hickner, R.C., J.S. Fisher, S.B. Hansen, S.B. Racetta, C.M. Mier, M.J. Turner, and J.O Holloszy (1997). Muscle glycogen accumulation after endurance exercise in trained and untrained individuals. *J. Appl. Physiol. 83:897–903*
13. Hohorst, H.J. (1965). Determination of L-lactate with LDH and DPN. *In: Methods of Enzymatic Analysis. H.U. Bergmeyer, ed. New York: Academic Press*
14. Hurley, B.F., P.M. Nemeth, W.H. Martin III, J.M. Hagberg, G.P. Dalsky, and J.O. Holloszy (1986). Muscle triglyceride utilization during exercise: Effect of training. *J. Appl. Physiol. 60:562–567*
15. Ivy, J.L., A.L. Katz, C.L. Cutler, W.M. Sherman, and E.F. Coyle (1988). Muscle glycogen synthesis after exercise: Effect of time of carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol. 64:1480–1485*
16. Ivy, J.L., M.C. Lee, J.T. Brozinick, and M.J. Reed (1988). Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol. 65:2018–2023*
17. Levenhagen, D.K., J.D. Gresham, M.G. Carlson, D.J. Maron, M.J. Borel, and P.J. Fakoll (2001). Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am. J. Physiol. 280: E. 982–E993*
18. Maughan, R.J., J.H. Owen, S.M. Shirreffs, and J.B. Leiper (1994). Post-exercise rehydration in man: Effects of electrolyte addition to ingested fluids. *Eur. J. Appl. Physiol. 69:209–215*
19. Nielsen, B., G. Sjogaard, J. Ugelvig, B. Knudsen, and B. Dohlmann (1986). Fluid balance in exercise dehydration and rehydration with different glucose-electrolyte drinks. *Eur. J. Appl. Physiol. 55:318–325*
20. Nose, H., G.W. Mack, X. Shi, and E.R. Nadel (1988). Role of osmolality and plasma volume during rehydration in humans. *J. Appl. Physiol. 65:325–331*
21. Nuttal, F.Q., A.D. Mooradian, M.C. Gannon, C. Billington, and P. Krezowski (1984). Effect of protein ingestion on the glucose and insulin response to a standardized oral glucose load. *Diabetes Care. 7:465–470*
22. Passonneau, J.V., and V.R. Lauderdale (1974). A comparison of three methods of glycogen measurements in time. *Anal. Biochem. 60:405–415*
23. Rasmussen, B.B., K.D. Tipton, S.L. Miller, S.E. Wolf, and R.R. Wolfe (2000). An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J. Appl. Physiol. 88:386–393*
24. Reed, M.J., J.T. Brozinick Jr., M.C. Lee, and J.L. Ivy (1989). Muscle glycogen storage post exercise: Effect of mode of carbohydrate administration. *J. Appl. Physiol. 66:720–726*
25. Shirreffs, S.M (2000). Rehydration and recovery after exercise. *In: Nutrition in Sport. R.J. Maughan, ed. Oxford: Blackwell Science*
26. Spiller, G.A., C.D. Jensen, T.S. Pattison, C.S. Chuck, J.H. Whittam, and J. Scala (1987). Effect of protein dose on serum glucose and insulin response to sugars. *Am. J. Clin. Nutr. 46:474–480*
27. Tipton, K.D., A.A. Ferrando, S.M. Phillips, D. Doyle Jr., and R.R. Wolfe (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am. J. Physiol. 276: E. 628–E634*
28. van Hall, G., S.M. Shirreffs, and J.A.L. Calbet (2000). Muscle glycogen resynthesis during recovery from cycle exercise: No effect of additional protein ingestion. *J. Appl. Physiol. 88:1631–1636*
29. van Loon, L.J.C., W.H.M. Saris, M. Kruijshoop, and J.M. Wagenmakers (2000). Maximizing post exercise muscle glycogen synthesis: Carbohydrate supplementation and the application amino acid or protein hydrobysate mixtures. *Am. J. Clin. Nutr. 72:106–111*
30. Wong, S.H., and C. Williams (2000). Influence of different amounts of carbohydrate on endurance running capacity following short term recovery. *Int. J. Sports Med. 21:444–452*
31. Wong, S.H., C. Williams, and N. Adams (2001). Effects of ingesting a large volume of carbohydrate-electrolyte solution on rehydration during recovery and subsequent exercise capacity. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab. 10:375–393*
32. Zawadski, K.M., B.B. Yaspelkis III, and J.L. Ivy (1992). Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J. Appl. Physiol. 72:1854–1859*

Cita Original

Williams, M.B., P.B. Raven, D.L. Fogt, and J.L. Ivy. Effects of recovery beverages on glycogen restoration and endurance exercise performance. J Strength Cond Res; Vol. 17, No. 1, pp. 12□19, 2003.