Monograph

Influencia de Distintas Ingestas de Macronutrientes Sobre la Resíntesis de Glucógeno Muscular Luego del Entrenamiento de Sobrecarga

Mark A Tarnopolsky[1]

[1]*Departments of Kinesiology, Neurology, and Physical Medicine and Rehabilitation, McMaster University, Hamilton, Ontario, Canada L8S 4K1.*

RESUMEN

Se ha mostrado que, luego del ejercicio de resistencia, la provisión de proteínas adicionales (Pro) a un suplemento con carbohidratos (CHO) resulta en una mayor tasa de resíntesis de glucógeno muscular (Zawadzki et al, J. Appl. Physiol. 72: 1854-1859, 1992). Hasta el momento no se ha llevado a cabo la comparación de los efectos relacionados con la ingesta de bebidas isoenergéticas con CHO y con CHO/Pro sobre la resíntesis de glucógeno muscular después de la realización de ejercicios de resistencia o sobrecarga muscular. En el presente estudio se investigaron los efectos de la ingesta de bebidas isoenergéticas con fórmula definida a base de CHO (1 gr/kg), y a base de CHO/Pro/grasas (66% de CHO, 23 % de Pro, y 11 % de grasas), y de placebo (Pl), administradas inmediatamente (t = 0 hs) y 1 h (t = +1 hora) después de la realización de ejercicios de sobrecarga en 10 varones jóvenes y sanos. Los sujetos llevaron a cabo una rutina corporal total (9 ejercicios/3 series al 80 % de 1 repetición máxima) que incluyó el ejercicio de extensión unilateral de rodilla [ejercicio (Ex), sirviendo la otra pierna como control (Con)]. Las pruebas en las que se ingirieron las bebidas a base de CHO/Pro/grasas y de CHO, produjeron una concentración plasmática significativamente mayor ($p<0.05$) de insulina y glucosa, en comparación con Pl. En las tres condiciones e inmediatamente post-ejercicio, la concentración muscular de glucógeno fue significativamente menor ($P<0.05$) para la pierna Ex en comparación con la pierna Con. La tasa de resíntesis de glucógeno fue significativamente mayor ($P<0.05$), tanto con CHO/Pro/grasas como con CHO (23.0 ± 4.5 y 19.3 ± 6.1 mmol/kg músculo seco/h, respectivamente) en comparación con la condición Pl (Ex = 2.8 ± 2.3 vs Con = 1.4 ± 3.6 mmol/kg de músculo seco/h). Estos resultados demuestran que una serie de ejercicios de sobrecarga producen una disminución significativa en el glucógeno muscular, y que la ingesta de una bebida isoenergética a base de CHO a base de CHO/Pro/grasas provoca tasas similares de resíntesis de glucógeno muscular después del ejercicio de sobrecarga. Esto sugiere que el contenido calórico total y el contenido de CHO son importantes en la resíntesis glucogénica.

Palabras Clave: suplemento con carbohidratos, suplemento con proteínas, ejercicio de fuerza

INTRODUCCION

Se sabe que la suplementación nutricional después de la realización de ejercicios de resistencias aumenta la tasa de resíntesis de glucógeno muscular (6, 7). Sin embargo, se han llevado a cabo muy pocas investigaciones acerca del rol de la

suplementación nutricional después del ejercicio de sobrecarga muscular (14). De manera similar al ejercicio de resistencia, el ejercicio de sobrecarga produce una disminución significativa del glucógeno muscular (10, 16, 20). Sin embargo, la magnitud de esta disminución no es tan grande como la observada con el ejercicio resistencia (19). Previamente se ha investigado la influencia de la suplementación con carbohidratos (CHO) luego del entrenamiento de sobrecarga (14) y se ha observado que la suplementación con CHO produce tasas de resíntesis glucogénica similares a las observadas luego del ejercicio de resistencia (14). Sin embargo, otros investigadores han observado mayores tasas de resíntesis de glucógeno muscular y mayores niveles plasmáticos de insulina con el consumo de un suplemento a base de CHO/proteínas (Pro) después del ejercicio de resistencia (21). Los suplementos no isoenergéticos administrados en este último estudio, hacen que la interpretación de estos últimos resultados sea difícil; sin embargo, sugieren que los suplementos a base de Pro y CHO son más eficaces para promover la resíntesis de glucógeno que los suplementos a base de CHO solamente.

La mayor tasa de resíntesis glucogénica en el estudio llevado a cabo por Zawadszki et al (21) fue atribuida a la mayor liberación de insulina plasmática que se ocurrió con el consumo del suplemento a base de CHO/Pro. La liberación de insulina es estimulada principalmente por los CHO; sin embargo, también se ha demostrado que las proteínas también estimulan su liberación. (13). Hay evidencias que sugieren que el consumo conjunto de CHO y Pro, podrían producir una mayor respuesta de la insulina plasmática (18, 21).

Una tasa más rápida de recuperación del glucógeno muscular puede ser beneficiosa para un individuo que realiza múltiples rutinas por día. Además, una mejor respuesta insulínica post-esfuerzo sería útil para un deportista que realiza ejercicios de sobrecarga, ya que podría atenuar la degradación de proteínas musculares (17), y/o aumentar la síntesis de proteínas musculares.

Por lo tanto, el propósito de esta investigación fue determinar los efectos de las ingestas de macronutrientes sobre la respuesta isulínica y la tasa de resíntesis de glucógeno muscular, después de una sesión de entrenamiento de sobrecarga con el control de la ingesta calórica durante 24 hs.

METODOS

Sujetos

Diez varones jóvenes (19-21 años) fueron reclutados y evaluados para asegurar que estuvieran sanos, y que habían estado participando en un programa de entrenamiento de sobrecarga durante al menos 2 años antes de esta investigación (4 veces/semana; Tabla 1). Antes de la inclusión en el estudio, se evaluaron los diarios de entrenamiento de los sujetos para certificar que no habían ocurrido recientes mejoras significativas en la fuerza o alteraciones en el entrenamiento. También se les pidió a los sujetos que no cambiaran su entrenamiento durante la duración del estudio. A cada sujeto se le explicaron los procedimientos experimentales, los riesgos, y los beneficios asociados con la participación en el estudio, antes de obtener su consentimiento por escrito. Los procedimientos fueron aprobados que el Comité de Ética para la utilización de Sujetos Humanos de la Universidad McMaster.

Sujeto Nº	Edad años	Peso (kg)	Altura (cm)	% Grasa	Años entr.	Energia (Kcal)	% CHO	% Pro	% Grasas
1	19	75.4	186	15.2	3.5	2, 767	55	12	33
2	20	77.5	174.5	8.3	2.5	1, 793	48	18	34
3	19	85.4	184.8	9.2	3.5	3, 105	45	15	39
4	20	75.5	176	8.3	7	2,342	49	17	34
5	19	104	190	15.2	5.5	5, 203	49	23	28
6	19	95.4	198.5	12.2	5	4, 011	35	24	41
7	19	90	180	7.1	5	1, 967	46	17	37
8	20	85	178	17.0	4	3, 157	51	18	31
9	20	97.5	181.7	14.4	3	3, 394	61	20	19
10	21	82.2	173	16.1	5	2, 560	58	17	24
Media + EE	19. 6=0.22	96.8+3.10	182.3+2.48	12.3+0.004	4.4+0.43	3,030+320.80	50+2.31	18+1.12	32+2.14

Tabla 1. *Datos descriptivos de los sujetos y características de la dieta habitual. El % de grasas fue calculado de acuerdo a W.E. Siri. The Gross Composition of the Body. New York: Academic, 1956, Vol. IV, p 239, (Adv. Biol. Med Physics Ser.). Entr.=Años de entrenamiento de sobrecarga; CHO= Carbohidratos; Pro= Proteínas.*

Diseño

Los sujetos participaron en una serie de pruebas doble ciego, con grupo control con placebo. Todos los sujetos completaron cada una de las siguientes condiciones: CHO/Pro/grasas (~66% de CHO, ~23% de Pro, y ~11% grasas; bebida deportiva comercialmente disponible, Mead-Johnson, Canadá; fuente de CHO: 56% de sucrosa – 44% de polímero de glucosa a partir de melazas de maíz sólidas), CHO solamente (misma fuente de CHO que en CHO/Pro/grasas), y placebo (Pl; sucralosa, derivados de la sucrosa no reconocidos como CHO por el organismo). Todas las series estuvieron separadas por un mínimo de 2 semanas. La secuencia de las pruebas fue aleatoria pero, por error, el técnico que controló el estudio ciego tuvo a todos los sujetos participando en cada condición en la misma secuencia. Sin embargo, tanto los sujetos como los otros investigadores no supieron la distribución de los suplementos (doble ciego).

Antes de las pruebas experimentales, se determinó la fuerza de los sujetos en una repetición máxima en ocho ejercicios diferentes (ver más adelante), y se determinó la densidad corporal a través del peso hidrostático.

Además, se registraron las ingestas nutricionales de 4 días, que fueron analizadas a través de un software para el análisis nutricional (Nutritionist IV, First Data Bank, San Bruno, CA). A partir de esto, se diseñaron dietas individuales para cada sujeto para los 3 días previos a cada prueba (listado alimentario) y para el mismo día de la serie (dieta pre-envasada). Las dietas eran isoenergéticas, isonitrogenadas, y libres de carne. La composición de la dieta pre-envasada variaba de acuerdo a la bebida post-esfuerzo administrada (Tabla 2). La ingesta calórica diaria total se mantuvo constante durante las tres pruebas (Tabla 3). La ingesta calórica post-esfuerzo para las pruebas CHO/Pro/grasas y CHO fue la misma, y sólo varió la composición de macronutrientes (Tabla 2). Las calorías y macronutrientes proporcionados por las bebidas con fórmula pre-definida reemplazaron parte de la ingesta habitual de los sujetos. Además, la cantidad de calorías y macronutrientes proporcionados por las bebidas fue la misma para cada prueba experimental. Esto fue logrado a través de la administración de una bebida consumida conjuntamente con el desayuno (Tabla 2).

Los sujetos se abstuvieron de realizar ejercicios de sobrecarga en los 3 días previos a cada prueba experimental y de realizar cualquier tipo de ejercicio en los 2 días previos. Los sujetos ingirieron los alimentos a las 8.00, 11.00, y 14.00 hs (Tabla 3) y se presentaron en el laboratorio a las 17.00hs (t = - 1.25 h). Un catéter de calibre 22 era insertado en la vena antecubital, y se recolectaba una muestra de sangre (t = -1.25 h; Figura 1). Posteriormente los sujetos llevaban a cabo la serie de ejercicios bajo supervisión. El ejercicio consistió de una rutina en circuito para todos los grupos musculares utilizando un aparato multi-estación Global Gym. Cada rutina constaba de tres series de cada uno de los siguientes ejercicios: press de banca, abdominales, extensiones de rodilla, tirones en polea, curl de bíceps, prensa de piernas, extensiones de codo, press militar, y una serie adicional de extensiones de rodilla. Los tres ejercicios de piernas fueron realizados unilateralmente de manera que, durante la serie Pl, el músculo de la extremidad no activa sirvió de control [pierna activa (Ex) y control (Con)]. Los sujetos realizaron 20 abdominales y para todos los otros ejercicios, tres series de 10 repeticiones al 80% de 1 RM. Durante la sesión de ejercicios de la primera prueba experimental, los sujetos pudieron beber agua a voluntad pero se requirió que consumieran exactamente la misma cantidad en las dos pruebas siguientes. Al finalizar el ejercicio (t = 0 hora), se recolectaba una muestra de sangre, y se llevaba a cabo una biopsia muscular del vasto lateral de la pierna Ex usando la técnica de succión modificada de Bergström, y se suministraba una de las bebidas [CHO/Pro/grasas (Prueba 1), CHO (1gr/kg; Prueba 2), y placebo (Prueba 3; t = 0 h)]. Se recolectaron muestras de sangre cada 20 minutos durante las siguientes 2 hs y 40 minutos. También se recolectaron muestras sanguíneas adicionales a las 4, 4.25, y 4.5 hs post-esfuerzo. Una segunda bebida era suministrada a la hora post-esfuerzo (igual a la de t = 0 h), y una segunda biopsia se obtenía a las 4 hs post-esfuerzo.

Todas las muestras de sangre fueron recolectadas en tubos pre-enfriados, heparinizados, y centrifugadas inmediatamente. El plasma fue almacenado a -50ª C para el posterior análisis de lactato, glucosa, e insulina (ver abajo). Todas las biopsias fueron diseccionadas libres de tejido conectivo visible, colocadas en nitrógeno líquido, y almacenadas a -50º C para el análisis posterior del glucógeno muscular (ver abajo).

	Desayuno 8.00hs	Almuerzo 11.00hs	Merienda 14.00hs	Post-ejercicio
Pl	CHO/Pro/grasas +D	A	M	Pl
CHO	Pro/grasas +D	A	M	CHO (1gr/kg)
CHO/Pro/grasas	Pl +D	A	M	CHO/Pro/grasas

Tabla 2.*Distribución de los suplementos nutricionales para cada serie. Post-ejercicio = suplemento dado a t = 0 hora y t = + 1 hora post-esfuerzo. Pl = placebo; D = desayuno; A= almuerzo; M = merienda.*

Prueba	Energía kcal	%CHO	%Pro	%grasas
PI	3.008	48.8	17.2	31.8
CHO	3.036	52.6	18.4	28.7
CHO/Pro/grasa	3.010	51.2	19.4	28.3
Habitual	3.029	49.7	18.1	32
P	NS	NS	NS	NS

Tabla 3. *Ingesta nutricional diaria para cada serie. NS= no significativo.*

Análisis

Plasma. Todas las muestras de plasma fueron analizadas para determinar la concentración de insulina a través de radioinmunoensayo (Diagnostic Products, Los Angeles, CA). El coeficiente de variación (CV) intra-ensayo fue del 3.2%. Además, también se determinó la concentración de glucosa en cada muestra (Sigma Diagnostics, Kit 135, St. Louis, MO) con un CV intra-ensayo de 3.5%.

La concentración plasmática de lactato fue determinada en las muestras recolectadas con los sujetos en reposo, y en las muestras recolectadas inmediatamente post-esfuerzo. El Lactato plasmático fue determinado en duplicado utilizando un analizador de lactato YSI 23L (Yellow Springs Instruments, Yellow Springs, OH).

Glucógeno Muscular. Antes del análisis, las muestras musculares fueron liofilizadas, pulverizadas, y cualquier partícula visible de sangre o tejido conectivo era removida antes de pesarlas. La concentración de glucógeno fue determinada con un método adaptado al descrito por Bergmeyer (2).Brevemente, se agregaban 160 µL de NaOH a 2.0-2.4 mg de tejido muscular seco y se mezclaba completamente. Luego de la incubación a 80º C durante 10 min, se agregaban 640 µL de una solución combinada ácido – buffer (HCl-citrato) para neutralizar la muestra. Luego se agregaba amiloglucosidasa (40 µL; Sigma Chemical, St. Louis, MO) y la muestra era mezclada y estacionada durante 80 min. Luego se agregaban 80 µL de una solución reactiva é375 mM de trietanolamina, 150 mM KOH, 112.5 mM Mg $(Ac)_2$ • $2H_2O$, y 3.75 mM de Na_2EDTA • $2H_2O$ù, 5 µL de una solución de ATP (45 mM), 5 µL de una solución de ditiotreitol (60 mM) y 10 µL de una solución de NAD (30 mM). Las mediciones de la absorbancia de base fueron realizadas con un espectrofotómetro ultravioleta a 340 nm (modelo Shimadzu 1202, Japón). Se agregó una solución de glucosa-6-fosfato dehidrogenasa-hexoquinasa (4 µL; 200 U de glucosa-6-fostato dehidrogenasa y 200 U de hexoquinasa disuelta en 800 µL de 2,3- dideoxiinosina, Sigma Chemical). La absorbancia a 340 nm luego fue medida 15 min después de la adición de la solución de enzimas. La absorbancia de base fue luego restada de la absorbancia de reacción, y el valor obtenido fue graficado contra una curva estándar de glucógeno (Sigma Chemical) para la determinación de la concentración de glucógeno. Las concentraciones de glicógeno muscular se presentan en milimoles de glucógeno por kilogramo de peso muscular seco.

Cálculos

La tasa promedio de resíntesis del glucógeno muscular fue calculada a partir de la tasa = (G post – G pre)/t, donde G pre es la concentración de glucógeno muscular inmediatamente post-esfuerzo, G post es la concentración glucogénica 4 hs después del ejercicio, y t es el tiempo entre las dos biopsias.

Figura 1. *Diseño experimental para cada día de evaluación.*

Análisis Estadísticos

Los datos de las variables musculares y sanguíneas fueron analizados utilizando el análisis de varianza para medidas repetidas (ANOVA; tiempo × tratamiento; Statistica, versión 5.0, StaSoft, Tulsa, OK). Cuando ocurría una interacción significativa, se usaba análisis post hoc de Tukey para localizar las diferencias apareadas. Los cálculos del área integrada bajo la curva fueron llevados a cabo utilizando un programa especial especial. Los datos del área bajo la curva fueron analizados usando el análisis de varianza ANOVA de una vía, para mediciones repetidas. Un valor de $p<0.05$ se consideraba indicativo de significancia estadística. Los valores se expresan como medidas ± EE.

RESULTADOS

El estímulo del ejercicio produjo aumentos similares en la concentración plasmática de lactato en las tres condiciones (Figura 2).

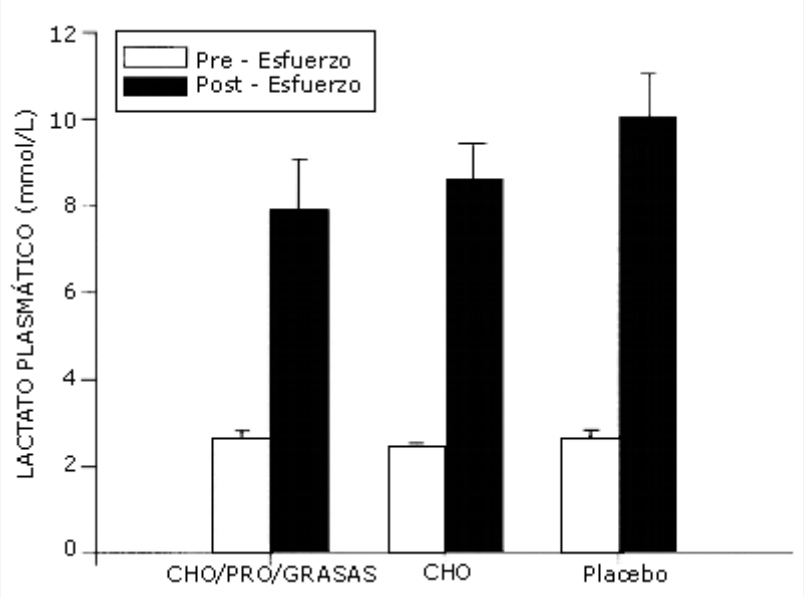

Figura 2. *Lactato plasmático antes (Pre) y después (post) del ejercicio. CHO = carbohidratos; Pro = proteínas.*

Tanto en la prueba CHO/Pro/Grasas como en la pruebas CHO se observaron concentraciones iniciales de glucosa plasmática significativamente mayores (p<0.05). En las tres condiciones, el ejercicio resultó en un nivel ligeramente mayor (no significativa) de glucosa plasmática (Figura 3*A*). El consumo de CHO/Pro/grasas resultó en una concentración de glucosa significativamente mayor a los 20, 40, 80, 100, 120, 140, y 160 min post-esfuerzo en comparación con la condición Pl (p<0.01; Figura 3*A*). La prueba con CHO produjo una respuesta de la glucosa similar a la prueba con CHO/Pro/grasas, con incrementos significativos a los 20, 40, 60, 100, 120, y 140 min post esfuerzo versus la condición Pl (p<0.01; Figura 3*A*). El área bajo la curva de glucosa no fue significativamente diferente entre las pruebas CHO/Pro/grasas y CHO (CHO/Pro/grasas = 5.87 ± 0.27 mM/h y CHO = 5.59 ± 0.35 mM/h), pero fueron mayores en comparación con Pl (p<0.01, Figura 4*A*).

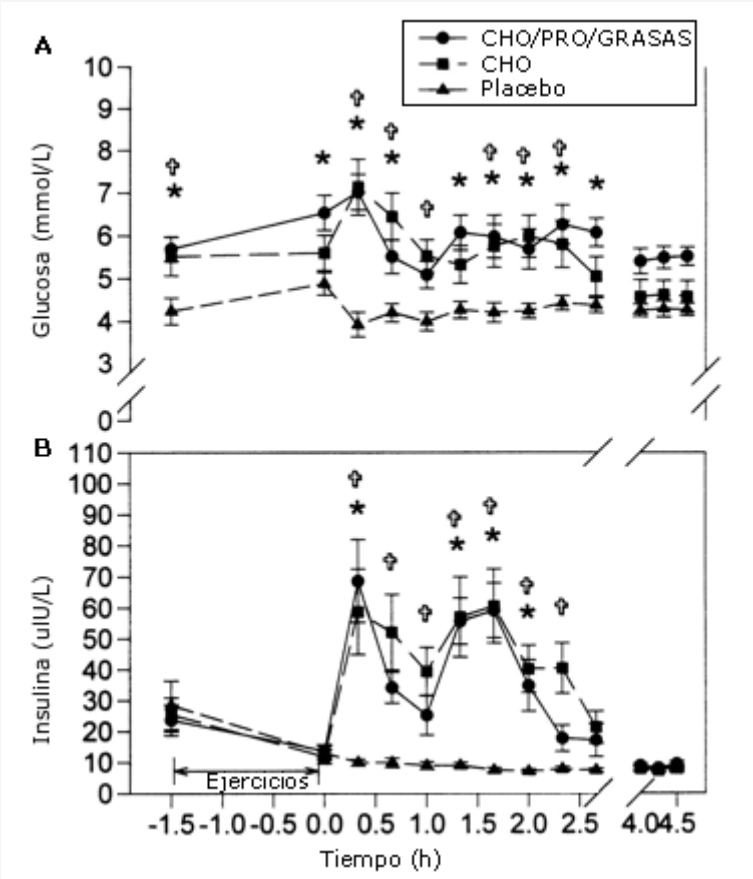

Figura 3. *A) Concentración de glucosa plasmática; B) Concentración de insulina plasmática. *Diferencia significativa (p<0.05) entre las pruebas CHO/Pro/grasas y placebo (Pl). (†) Diferencia significativa (p<0.05) entre las pruebas CHO y Pl.*

No hubo diferencias en las concentraciones de insulina plasmática entre las series tanto al comienzo del ejercicio (t = - 1.5 h) como al final del mismo (t = 0 h), y al momento de la segunda biopsia muscular (t = 4 h). Las concentraciones plasmáticas de insulina fueron significativamente mayores en la prueba CHO/Pro/grasas que en la prueba Pl a los ± 20, ± 80, ± 100, y ± 120 min post-esfuerzo (Figura 3*B*; p<0.01). De forma similar, la condición CHO elevó significativamente las concentraciones de insulina en plasma a los ± 20, ± 40, ± 60, ± 80, ± 100, ± 120, y ± 140 min., en comparación con Pl (Figura 3*B*; p<0.01). El área bajo la curva de insulina fue aproximadamente tres veces mayor tanto para la condición CHO/Pro/grasas como para la condición CHO vs la condición Pl (p<0.01; CHO/Pro/grasas = 28.9 ± 2.7 µIU/h/L CHO = 33.6 ± 4.6 µU/h/L, Pl = 10.1 ± 1.2 µIU/h/L; Figura 4*B*).

Inmediatamente después del ejercicio, las concentraciones de glucógeno muscular en las tres condiciones fueron significativamente menores (pero no diferentes entre las pruebas) que en la pierna Con que no realizó ejercicio (p<0.05;

CHO/Pro/grasas = 220.3 ± 26.5 mmol/kg de músculo seco; CHO = 235.1 ± 27.7 mmol/kg de músculo seco; Pl = 247 ± 22.9 mmol/kg de músculo seco; Con = 352.3 ± 32.04 mmol/kg de músculo seco; Figura 5*A*). Esto sumo una disminución promedio del 36% del glucógeno muscular en el vasto lateral [comparando el glucógeno post-esfuerzo en las 3 condiciones vs el glucógeno en Pl-Con (pierna pasiva)].

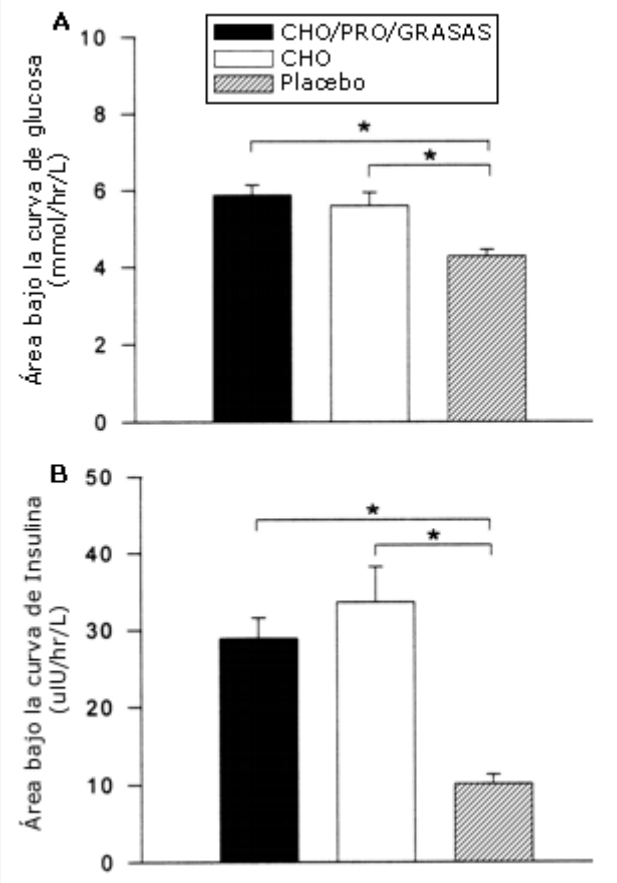

***Figura 4**. A) Área bajo curva para la glucosa; B) Área bajo la curva para la insulina. (*) Diferencia significativa (p<0.05) entre las condiciones.*

Tanto para la condición CHO/Pro/grasas como para la condición CHO, la concentración de glucógeno muscular fue significativamente mayor después de 4 hs, en comparación con el momento inmediatamente post-esfuerzo ($p<0.05$; Figura 5*A*; CHO/Pro/grasas = 220.3 ± 26.5 a 312.2 ± 23.0 mmol/kg de músculo seco; CHO = 235.1 ± 27.7 a 312.2 ± 38.8 mmol/kg de músculo seco). Sin embargo, el tratamiento de Pl no produjo ningún incremento en la concentración de glucógeno muscular después de 4 hs, ni en la pierna Ex ni en la pierna Con (Figura 5*A*; Pl: Ex = 247.6 ± 22.9 a 255.7 ± 27.5 mmol/kg; Con = 352.3 ± 32.0 a 367.5 ± 43.0 mmol/kg). Tanto la condición CHO/Pro/grasas como la condición CHO generaron una tasa significativamente mayor de resíntesis de glucógeno muscular en comparación con la condición Pl: Ex: = 2.0 ± 2.3 mmol/kg/hora, Con = 3.8 ± 4.7 mmol/kg/hora).

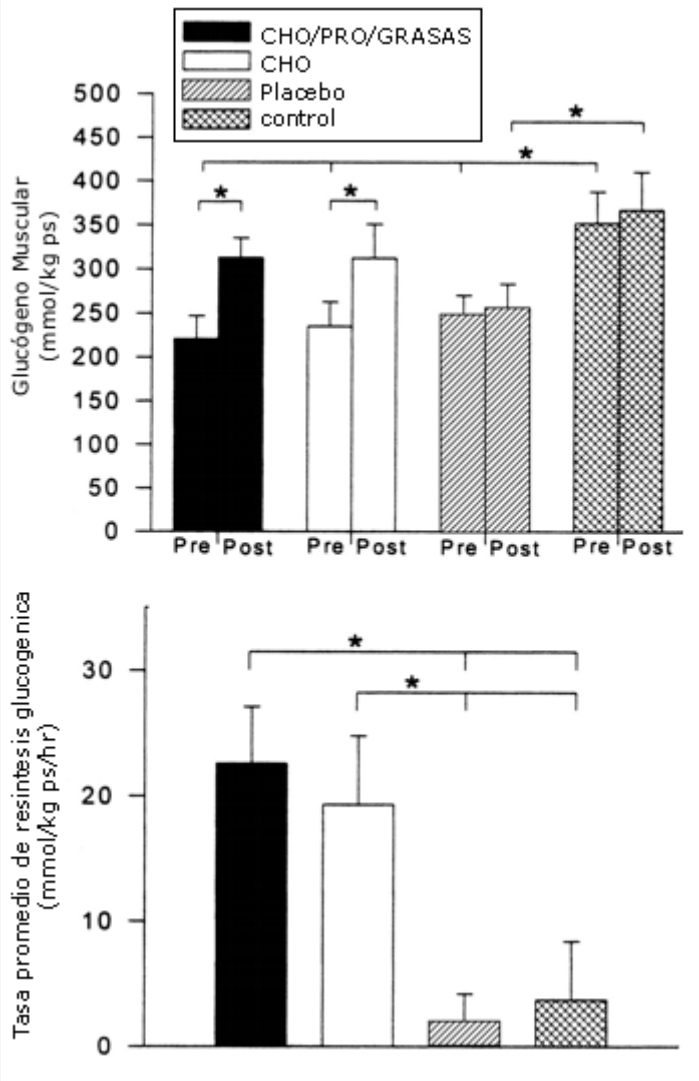

Figura 5. *A) Concentración de glucógeno muscular para las distintas condiciones alimentarias (CHO/Pro/grasas, CHO, Pl) y para la pierna en ejercicio vs control (pierna en reposo) en la condición Pl; B) tasas promedio de resíntesis de glucógeno muscular en las primeras 4 hs, después del ejercicio. (*)Diferencias significativas (p<0.05).*

DISCUSION

El propósito de estas investigaciones era determinar los efectos de la ingesta calórica de distinta composición de macronutrientes sobre la resíntesis de glucógeno muscular después de una serie de ejercicios de resistencia para el cuerpo. Este es el primer informe que ha comparado distintas ingestas de macronutrientes después del ejercicio, controlado además la ingesta calórica de suplementos y la ingesta calórica diaria total en la condición placebo. Como se demostró previamente en el ejercicio de resistencia, los suplementos con CHO (1 mg/kg dado a las 0 ± 1 hora post post-esfuerzo) produjeron un aumento significativo de la glucosa e insulina plasmáticas (17). De manera similar, la condición CHO/Pro/grasas en este estudio llevó a incrementos parecidos, tanto en la glucosa como en la insulina en plasma, así como con CHO solo. Esto sugiere que CHO/Pro/grasas fue un estímulo similar para la liberación de insulina que CHO solo. Los aumentos de glucosa e insulina observados en el presente estudio fueron similares a los observados por otros investigadores luego del ejercicio de “endurance” (8,9) tanto como de resistencia muscular (17).

Tanto CHO/Pro/grasas como CHO resultaron en tasas similares de resíntesis de glucógeno muscular. Estas fueron considerablemente mayores que las observadas para la condición Pl (piernas Ej + Con). Las tasas de resíntesis luego del ejercicio de “endurance” (21). En el estudio de Zawadzki y cols. (21) se observó que la combinación de un suplemento con CHO/Pro producía una tasa mayor de resíntesis glucogénica que CHO o Pro solo9s. Sin embargo, este suplemento

combinado de CHO/Pro fue el suplemento individual con CHO agregado al suplemento con Pro, resultando, por lo tanto, en un suplemento con un contenido calórico 42% mayor. La observación que las condiciones isoenergéticas en el presente estudio resultaran en similares tasas de resíntesis glucogénica sugiere que el total de calorías consumidas post-esfuerzo también es un factor importante en la resíntesis de glucógeno. Las menores tasas de resíntesis observadas con la condición Pl demostraron la importancia de la ingesta calórica y de macronutrientes después del ejercicio de resistencia muscular.

Podría haberse dado la posibilidad de un efecto de orden en el presente estudio debido a un error inadvertido en el ordenamiento de los suplementos por parte del asistente de investigación que controló el nivel ciego del estudio. Sin embargo, hay diversos factores que indican que ésto no fue así y que no influyó en los resultados. En primer lugar, debido a que los sujetos estaban altamente entrenados, fue poco probable que haya habido desarrollos significativo en la fuerza entre cada serie, y no hubo razones para cambios sistemáticos en el entrenamiento en ninguna dirección. En segundo lugar, cada sujeto desarrollo la misma cantidad de trabajo para cada condición. En tercer término, se observó un incremento similar en los valores de lactato plasmático desde el pre-ejercicio al post-esfuerzo para las tres condiciones (Figura 2). Cuarto, la concentración de glucógeno muscular de la pierna en ejercicio inmediatamente post-esfuerzo fue la misma para ejercicio inmediatamente post-esfuerzo fue la misma para las tres condiciones (Figura 5*A*).Además, lo más importante, tanto los investigadores como los sujetos no tuvieron conocimiento de la alocación de los suplementos (doble ciego). Todo lo mencionado anteriormente respalda la poca posibilidad de un efecto de orden.

Una observación no esperada en el presente estudio fueron las concentraciones basales significativamente diferentes de glucosa plasmática (inferiores para Pl). Es poco probable que esta diferencia sea indicadora de diferencias en el consumo de CHO dentro de las tres horas de cada serie causada por las concentraciones casi idénticas de la insulina en los controles alimentarios. Nosotros hemos observados una tendencia parecida en un estudio similar con ejercicios de "*endurance*", lo cual podría tener relación con una relativa hipoglucemia de "rebote" para la condición Pl (mayor consumo de CHO con el desayuno) y/o un incremento en el suministro gluconeogénico para las condiciones CHO (Pro/grasas y CHO, debido a la menor ingesta calórica total antes en el día.

Las tasas de resíntesis de glucógeno muscular fueron mayores en el presente estudio para las condiciones CHO/Pro/grasas y de CHO, luego del ejercicio de resistencia que las observadas por otro para CHO solo (14) pero son similares alas tasas observados con el consumo de CHO después de un ejercicio de alta intensidad (11). Estas diferencias probablemente fueron causadas por diferencias en el nivel de entrenamiento del sujeto. En el presente trabajo, se estudiaron atletas de resistencia muscular altamente entrenados, mientras que los sujetos en el estudio de pascoe y cols. (14) no estaban entrenados. La diferencia entre individuos entrenados y no entrenados probablemente esta relacionado con la sensibilidad a la insulina y el contenido de GLUT- 4 dentro del músculo (15). Sea demostrado que los deportistas presentan una mayor sensibilidad a la insulina en comparación co controles sedentarios (5). Esta mayor sensibilidad parece estar relacionada con el contenido de GLUT- 4 en el músculo (15). Es probable que el entrenamiento de resistencia muscular también incremente la presión de GLUT-4, aumentando, por lo tanto, la capacidad de transporte de glucosa en la célula e incrementando sensibilidad a la insulina de las células. Un mayor respaldo para esta explicación es la correlación positiva que se a observado entre contenido de GLUT- 4 y la tasa de resístensis de glicógeno muscular luego del ejercicio de "endurance" (12).

En el presente estudio las concentraciones de insulina plasmática fueron similares tanto para la serie con CHO/Pro/grasas con CHO. Esto no es consistente con n trabajo previo en esta área (21). La poca diferencia en la concentración de insulina entre CHO/Pro/grasas y CHO del presente estudio, probablemente esté relacionada con la naturaleza isocalórica de las condiciones. Por lo tanto, parece que la liberación de insulina no se potencia con CHO/Pro en comparación con CHO solo, después de un ejercicio de resistencia muscular. Sin embargo, el contenido de Pro podria ser importante para el deportista de resistencia por cuanto parece que la hiperinsulinemia es lo mas efectivibo para promover la síntesis de proteínas musculares en presencia de hiperaminoacidemia (1).

Hay datos que demuestran que la co-ingesta tanto de grasas como de Pro podria influir en la respuesta metabólica al CHO (4, 21); sin embargo, la respuesta insulínica en el presente estudio no sugiere tal interacción. Se debe mencionar que el contenido de grasas en la condición CHO/pro/grasas fue mínimos (11% de las calorías totales consumidas). Por ejemplo un individuos de 80kg habría consumido <4grde grasas con cada con cada bebida post-esfuerzo. Esta cantidad tan pequeña es probable que no produjera demasiada influencia sobre el metabolismo de los CHO. A habidos reportes en la literatura de cantidades aun mayores de consumo total de grasas (31% de la ingesta calórica total) durante un periodo de 24 hs que no han tenido ningún efecto sobre la cantidad total de resíntesis del glucógenos muscular después del ejercicio, en comparación con CHO solo (3). Por lo tanto, nosotros creemos que el componente graso de la condición CHO/Pro/grasas tuvo poca influencia sobre el almacenamiento de glucógeno muscular y la respuesta a los suministros de CHO.

Se observaron disminuciones significativas en el glucógeno muscular en el presente estudio luego del ejercicio de resistencia muscular. Las tres series de tres ejercicios diferentes de extensión de rodilla en el presente protocolo produjeron una disminución del 36% en el glucógeno muscular. Otros autores (10, 14, 16, 20) también han observado

disminuciones significativas del glucógeno muscular luego del ejercicio de resistencia. La disminución en el presente estudio fue similar a la observada por otros investigadores cuando son considerados tanto la intensidad como el volumen del ejercicio. En el período de tiempo de 4 hs luego de la finalización del ejercicio, hubo muy poca resíntesis de glucógeno muscular en la condición Pl. Esto indica que la ingesta alimentaria es importante en la resíntesis glucogénica luego del ejercicio de resistencia. Además demuestra que durante este tiempo hubo sólo una muy pequeña contribución para la resíntesis glucogénicas a partir del aporte de los precursores gluconegénicos al hígado, y consecuente liberación de glucosa hepática en la condición Pl. La gluconeogénesis hepática podría haber contribuido indirectamente a la resíntesis glucogénica, a través de ciclo glucosa-alanina en la serie con CHO(Pro/grasas. Es posible que tanto el componente proteico como graso contribuyeran a los precursores gluconeogénicos en la circulación aumentando, por lo tanto, los sustratos disponibles para la gluconeogénesis en el hígado. Nosotros sólo podemos especular con esta posibilidad, ya que no se realizaron mediciones de los aminoácidos plasmáticos o de glicerol. Además, la contribución relativa de la gluconeogénesis, probablemente, haya sido minimizada en las series con CHO/Pro/grasas y CHO por la elevación de la insulina plasmática y una esperada disminución del glucagón plasmático.

Los resultados del presente estudio tienen una importante directa para los individuos o deportistas que realizan series múltiples de ejercicio en un día determinado y/o para individuos con muy bajas ingestas calóricas (por ej., físicoculturistas antes de las competiciones). Por ejemplo, las personas que realizan series múltiples de ejercicio en un mismo día podrían asegurar un adecuado aporte de glucógeno muscular para series posteriores de ejercicio con el consumo de suplementos luego del ejercicio podría tener una influencia positiva sobre el metabolismo de las proteínas (17), lo cual requiere mayor investigación.

En síntesis, nuestro resultados indican que el consumo de 1 gr/kg de CHO o de CHO/pro/grasas de igual contenido calórico inmediatamente y 1 hora después de la finalización de un entrenamiento de resistencia, aumentó significativamente la tasa de resíntesis de glucógeno muscular durante las primeras 4 hs luego de la finalización del ejercicio, en comparación con un placebo. Esto sugiere que el contenido calórico total y el contenido de CHO son importantes para la resíntesis glucogénica.

Agradecimientos

Los autores agradeces a Scott MacKenzie, Joan Martin, Jonathon Fawles, y Dan McLennan por su ayuda técnica y a los Dres. S. Atkinson. D. MacDougall, y D. Sale por sus comentarios sobre el manuscrito. Este estudio fue respaldado financieramente por una beca de Mead-Johnson, Canadá.

Dirección para el pedido de reimpresiones y otra correspondencia: A. Tarnopolsky, Dept. of Kinesiology and Medicine, Rm. 205, Ivor Wynne Center, McMaster University, Hamilton, ON, Canada L8S 4K1.

REFERENCIAS

1. Bennet, W. M., A. A. Connacher, C. M. Scrimgeour, R. T. Jung, and M. J. Rennie (1990). Euglycemic hyperinsulinemia augments amino acid uptake by human leg tissue during hyperaminoacidemia. *Am. J. Physiol. 259 (Endocrinol. Metab. 22): E185-E194*
2. Bergmeyer, H. U (1983). Methods of Enzymatic Analysis. *New York: Academic, vol. VI, p. 11-18*
3. Burke, L. M., G. R. Collier, S. K. Beasley, P. G. Davis, P. A. Fricker, P. Heeley, K. Walder, and M. Hargreaves (1995). Effects of coingestion of fat and protein with carbohydrate feedings on muscle glycogen storage. *J. Appl. Physiol. 78: 2187-2192*
4. Collier, G., A. McLean, and K. O'Dea (1984). Effect of co-ingestion of fat on the metabolic responses to slowly and rapidly absorbed carbohydrates. *Diabetologia 26: 50-54*
5. Friedman, J. E., P. D. Neufer, and G. L. Dohm (1991). Regulation of glycogen resynthesis following exercise. *Sports Med. 11: 232-243*
6. Ivy, J. L (1991). Muscle glycogen synthesis before and after exercise. *Sports Med. 11: 6-19*
7. 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*
8. Ivy, J. L., M. C. Reed, J. T. Brozinick, Jr., and M. J. Reed (1988). Muscle glycogen storage after different amounts of carbohydrate ingestion. *J. Appl. Physiol. 65: 2018-2023*
9. MacDougall, J. D., S. Ray, N. McCartney, D. Sale, P. Lee, and S. Garner (1988). Substrate utilization during weight lifting (Abstract). *Med. Sci. Sports Exerc. 20: S66*
10. MacDougall, J. D., G. R. Ward, D. G. Sale, and J. R. Sutton (1977). Muscle glycogen repletion after high-intensity intermittent exercise. *J. Appl. Physiol. 42: 129-132*
11. McCoy, M., J. Proietto, and M. Hargreaves (1996). Skeletal muscle GLUT-4 and postexercise muscle glycogen storage in humans. *J. Appl. Physiol. 80: 411-415*
12. 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*
13. Pascoe, D. D., D. L. Costill, W. J. Fink, R. R. Robergs, and J. Zachwieja (1993). Glycogen resynthesis in skeletal muscle following resistance exercise. *Med. Sci. Sports Exerc. 25: 349-354*
14. Phillips, S. M., X. Han, H. J. Green, and A. Bonen (1996). Increments in skeletal muscle GLUT-1 and GLUT-4 after endurance training in humans. *Am. J. Physiol. 270 (Endocrinol. Metab. 33): E456-E462*
15. Robergs, R. A., D. R. Pearson, D. L. Costill, W. J. Fink, D. D. Pascoe, M. A. Benedict, C. P. Lambert, and J. J. Zachwieja (1991). Muscle glycogenolysis during different intensities of weight-resistance exercise. *J. Appl. Physiol. 70: 1700-1706*
16. Roy, B. D., M. A. Tarnopolsky, J. D. MacDougall, J. Fowles, and K. E. Yarasheski (1997). Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. *J. Appl. Physiol. 82: 1882-1888*
17. Spillar, G. A., C. D. Jensen, T. S. Pattison, C. S. Chuck, J. H. Whittman, and J. Scala (1987). Effect of protein dose on serum glucose and insulin response to sugars. *Am. J. Clin. Nutr. 46: 474-480*
18. Tarnopolsky, M. A., S. A. Atkinson, J. D. MacDougall, A. Chesley, S. Phillips, and H. P. Schwarcz (1992). Evaluation of protein requirements for trained strength athletes. *J. Appl. Physiol. 73: 1986-1995*
19. Tesch, P. A., B. Colliander, and P. Kaiser (1986). Muscle metabolism during intense, heavy resistance exercise. *Eur. J. Appl. Physiol. 55: 362-366*
20. Zawadzki, K. M., B. B. Yaspelkis, 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

B. D. Roy and M. A. Tarnopolsky. Influencia de Distintas Ingestas de Macronutrientes Sobre la Resíntesis de Glucógeno Muscular Luego del Entrenamiento de Sobrecarga. Resumenes del Simposio Internacional de Actualización en Ciencias Aplicadas al Deporte, 214-221, 1999.