

Monograph

Declaración de Posición de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva: Timing de Nutrientes

John L Ivy¹¹, Colin Wilborn⁵, Tim Ziegenfuss⁸, Jeffrey R Stout¹, R B Kreider⁶, Bill Campbell⁴, Jamie Landis¹⁰, Hector Lopez⁹, Dr. Jose Antonio¹², Chad Kerkick^{1,2}, Travis Harvey³ y Doug Kalman⁷

¹Department of Health and Exercise Science, University of Oklahoma, Norman, OK 73019, Estados Unidos.

²Endocrinology and Diabetes Section, Department of Pediatrics, University of Oklahoma Health Sciences Center, Oklahoma City, OK 73104, Estados Unidos.

³Center for Physical Development Excellence, Department of Physical Education, United States Military Academy, 727 Brewerton Road, West Point, NY 10996, Estados Unidos.

⁴School of Physical Education & Exercise Science, University of South Florida, Tampa, FL 33620, Estados Unidos.

⁵Exercise & Sport Science Department, University of Mary-Hardin Baylor, Belton, TX 76513, Estados Unidos.

⁶Department of Health & Kinesiology, Texas A&M University, College Station, TX 77843, Estados Unidos.

⁷Nutrition/Endocrinology Division, Miami Research Associates, Miami, FL 33143, Estados Unidos.

⁸Division of Sports Nutrition and Exercise Science, The Center for Applied Health Sciences, Fairlawn, OH 44333, Estados Unidos.

⁹Department of Physical Medicine and Rehabilitation, Northwestern University Feinberg School of Medicine, Chicago, IL 60611, Estados Unidos.

¹⁰Department of Biology, Lakeland Community College, Kirtland, OH 44094, Estados Unidos.

¹¹Department of Kinesiology & Health Education, University of Texas, Austin, TX 78712, Estados Unidos.

¹²Farquhar College of Arts and Sciences, Nova Southeastern University, Fort Lauderdale, FL 33314, Estados Unidos.

RESUMEN

Declaración de posición: La posición de la Sociedad respecto al *timing* de nutrientes y a la ingesta de carbohidratos, proteínas y grasas en referencia a individuos sanos que realizan ejercicio es resumida en los siguientes ocho puntos: 1) Se promueve una reserva endógena máxima de glucógeno siguiendo una dieta rica en carbohidratos (CHO) de alto índice glucémico (600-1000 gramos CHO o 8-10 g de CHO.kg⁻¹.día⁻¹), y la ingesta de aminoácidos libres y proteínas (PRO) solos o en combinación con CHO antes del entrenamiento de sobrecarga puede estimular una síntesis de proteínas máxima. 2) Durante el ejercicio, los CHO deberían ser consumidos a una tasa de 30-60 g de CHO.hora⁻¹ en una solución de 6-8% (227-453 g de fluido) cada 10-15 minutos. Adicionar PRO para crear una relación de CHO:PRO de 3-4 puede incrementar el rendimiento de resistencia y promover en forma máxima la resíntesis de glucógeno durante las sesiones agudas y subsiguientes de ejercicio de resistencia. 3) Ingerir CHO solos o en combinación de PRO durante el entrenamiento de sobrecarga incrementa el glucógeno muscular, atenúa el daño muscular, y facilita mayores adaptaciones al entrenamiento después de, ya sea períodos agudos o prolongados de suplementación con entrenamiento de sobrecarga. 4) Ha sido demostrado que el consumo de CHO post-ejercicio en altas dosis (8-10 g de CHO.kg⁻¹.día⁻¹) estimula la resíntesis de glucógeno muscular, mientras que adicionar PRO (0,2-0,5 g.kg⁻¹.día⁻¹) a los CHO en una relación de 3-4:1 (CHO:PRO) puede mejorar más la resíntesis de glucógeno. 5) Ha sido demostrado que la ingesta post-ejercicio (inmediatamente después hasta 3 horas) de aminoácidos, principalmente esenciales, estimula un incremento marcado en la síntesis de proteínas musculares, mientras que la adición de CHO puede estimular aun mayores niveles de síntesis proteica. Además, el consumo pre-ejercicio de suplementos con CHO + PRO puede resultar en niveles pico de síntesis proteica. 6) Ha sido

demostrado que durante el entrenamiento de sobrecarga consistente y prolongado, el consumo post-ejercicio de dosis variables de suplementos con CHO y PRO, estimula incrementos en la fuerza y la composición corporal, cuando se compara esto a una condición de control o placebo. 7) La adición de creatina (Cr) ($0,1 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$) a un suplemento con CHO y PRO puede facilitar aun mayores adaptaciones al entrenamiento de sobrecarga. 8) El *timing* de nutrientes incorpora el uso de un planeamiento metódico y la ingesta de alimentos enteros, nutrientes extraídos de la comida y otras fuentes. El *timing* de la ingesta energética y la relación de ciertos macronutrientes ingeridos son probablemente los atributos que permiten que mejore la recuperación y la reparación de tejidos luego del ejercicio de alta intensidad, aumentar la síntesis de proteínas musculares, y mejorar los estados de ánimo cuando se compara a este enfoque con uno basado en estrategias de ingesta de nutrientes no planificadas o tradicionales.

Palabras Clave: proteínas, carbohidratos, recuperación, entrenamiento de sobrecarga, entrenamiento de resistencia

TIMING DE NUTRIENTES Y EJERCICIO: UNA REVISION A LA LITERATURA

Introducción

Las investigaciones anteriores han demostrado que la ingesta de carbohidratos, proteínas y grasas realizadas en un momento determinado puede afectar significativamente la respuesta adaptativa al ejercicio. El concepto general de planificación de la relación de macronutrientes para las dietas de los atletas no está establecido directamente dentro de esta declaración de posición, ya que no hay ninguna recomendación que pudiera aplicarse a todos los individuos. Sin embargo, la ISSN refiere al lector a la última publicación del Instituto de Lineamientos Médicos para la Ingesta de Macronutrientes, como fuente de información más general [1]. El propósito de esta declaración de posición colectiva es señalar, resumir y valorar la literatura científica actual, y hacer recomendaciones científicas acerca de la ingestión de carbohidratos (CHO), proteínas (PRO) y grasas, realizada en un momento determinado. Las recomendaciones realizadas son apropiadas para investigadores, médicos, entrenadores y atletas, quienes pueden usar el *timing* de nutrientes como un medio para lograr los objetivos de rendimiento y salud óptimos. Esta declaración de posición está dividida en tres secciones principales: pre-ejercicio, durante el ejercicio y post-ejercicio. Cada sección concluye con diferentes puntos que destacan los hallazgos clave de cada una de las áreas.

TIMING DE NUTRIENTES: PRE-EJERCICIO

Las consideraciones nutricionales antes del ejercicio han estudiado tradicionalmente la administración de CHO para maximizar las reservas endógenas de glucógeno [2-6] y mantener los niveles de glucosa sérica durante el ejercicio de resistencia [4, 7]. Más recientemente, los estudios han comenzado a proporcionar datos que apoyan la afirmación que indica que la ingesta de CHO, aminoácidos, PRO y creatina (Cr) antes del entrenamiento de sobrecarga, constituyen modalidades efectivas para mejorar las adaptaciones al entrenamiento [8-12] y disminuir el daño muscular asociado al ejercicio [12, 13].

Ingesta de Carbohidratos Pre-ejercicio

Las reservas corporales de glucógeno son limitadas [7, 14], y van a durar como máximo algunas horas durante niveles de intensidad de ejercicio medio a altos (65-85% del VO_2 máx.) [15]. A medida que disminuyen los niveles de glucógeno, y la intensidad del ejercicio y la producción de trabajo disminuyen [14], frecuentemente se produce la ruptura de tejido muscular e inmunosupresión [16, 17]. Debido a la bien establecida conexión entre los cambios corporales negativos y el agotamiento de las reservas de glucógeno, el concepto de carga de CHO es probablemente la forma más vieja de todas las prácticas de *timing* de nutrientes. La ingesta diaria de comidas ricas en CHO (~65% de CHO) está recomendada para mantener el nivel de glucógeno muscular, mientras que tasas de ingesta más elevadas (~70% de CHO) en los 5-7 días que conducen a la competición son utilizadas como un medio de maximizar las reservas de glucógeno muscular y hepático y con el objetivo de sostener la glucosa sanguínea durante el ejercicio [2, 4, 5]. Los estudios tradicionales de carga de CHO utilizaron una fase de agotamiento de glucógeno que duraba de manera característica 1-3 días de consumo elevado de CHO, mientras que se minimizaba la realización de actividad física [2, 4]. Por ejemplo, Kavouras y colegas instruyeron a 20 ciclistas entrenados en resistencia para que realizaran ciclismo al 82% del VO_2 pico seis días a la semana, realizando ya sea una dieta isoenergética alta en CHO (600 g) o baja en CHO (100 g). Antes del ejercicio, los niveles de glucógeno muscular fueron significativamente más altos ($p < 0,05$) en la condición de CHO elevados ($104,5 \pm 9,4 \text{ mmol}\cdot\text{kg peso húmedo}^{-1}$) cuando

se la comparó a la condición con CHO bajos ($72,2 \pm 5,6$ mmol.kg de peso húmedo⁻¹). Los niveles de glucosa sérica se incrementaron durante el ejercicio en la condición de CHO elevados, sin observarse cambios evidentes en la condición de CHO bajos. Finalmente, los niveles de glucosa post-ejercicio fueron también significativamente mayores para la condición CHO elevados en comparación a la condición CHO bajos, sugiriendo que los individuos sujetos a la condición CHO elevados fueron mejor capaces de sostener sus niveles de glucosa sanguínea. No fueron notados cambios para los ácidos grasos libres séricos, los triacilglicéridos o la insulina ($p < 0,05$) [4]. En otro estudio realizado por Bussau et al. [2] encontraron que realizar una dieta con CHO de alto índice glucémico ($10 \text{ g.kg}^{-1}.\text{día}^{-1}$) por tan poco como un día podría incrementar significativamente los niveles de glucógeno muscular. En ese estudio en particular, los niveles de glucógeno muscular se incrementaron desde los niveles de la condición inicial de 95 ± 5 mmol.kg de peso húmedo⁻¹ hasta 180 ± 15 mmol.kg de peso húmedo⁻¹ después de un día, y permanecieron en aquellos niveles por tres días subsiguientes.

Las investigaciones que implican una elevada ingesta de CHO solos también han demostrado el logro de grandes niveles de glucógeno muscular y una mejora del mantenimiento de la glucosa sanguínea (euglucemia), aunque los cambios en el rendimiento han sido equívocos [14, 19-22]. En un estudio completado por Coyle et al. [14], los ciclistas fueron instruidos para ingerir una comida rica en CHO cuatro horas antes de completar una sesión de ejercicio prolongado (105 min) al 75% del VO_2 máx.

Esa sola comida incrementó el glucógeno muscular en un 42%, lo cual resultó en mayores niveles de oxidación de CHO y utilización de glucógeno muscular. De manera contraria, Febbraio et al. [21] reportaron que la ingesta de una comida rica en carbohidratos 45 min antes de 135 min de un ejercicio de ciclismo no fue responsable de los cambios en la utilización de glucógeno muscular o el rendimiento, cuando se la comparó con una comida baja en carbohidratos o agua. Un estudio de seguimiento realizado en el 2000 no encontró cambios en el rendimiento después de 150 min de ciclismo al 70% del VO_2 máx., cuando fue consumida, ya sea una comida rica o baja en carbohidratos 30 min antes del ejercicio [20]. Earnst et al. compararon los efectos de la ingestión pre-ejercicio de miel (bajo índice glucémico), dextrosa (alto índice glucémico) y un placebo a través de una prueba contrarreloj de 64 km en un diseño con entrecruzamiento. Mientras que se pensaba que la ingesta de CHO era responsable de la mayor producción de potencia a través del 16% final de las pruebas contrarreloj, no fueron detectadas diferencias en el rendimiento entre los grupos con ingesta de CHO de alto o bajo índice glucémico [19]. En general, las investigaciones que implican la ingesta de CHO dentro de la hora anterior al ejercicio demuestran resultados equívocos respecto a los cambios en el rendimiento, pero los estudios han demostrado frecuentemente la capacidad que tiene la ingesta de CHO para maximizar la utilización de glucógeno y promover la oxidación de CHO. Hawley y Burke [22] resumieron diferentes estudios que administraron alguna forma de CHO dentro de la hora anterior al ejercicio: un estudio reportó una disminución en el rendimiento [23], tres estudios reportaron un incremento en el rendimiento [24-26] y cinco estudios no reportaron ningún efecto [21, 27-30]. (Tabla 1).

Ingestión Pre-ejercicio de Aminoácidos y Proteínas

Los investigadores han comenzado a explorar el potencial de ingerir PRO y/o aminoácidos, ya sea solos o en combinación con CHO, con el objetivo de mejorar las adaptaciones al entrenamiento de sobrecarga. Un estudio que investigó esta relación potencial comparó la ingesta de un suplemento con CHO + PRO (35 g de CHO con 6 gramos de aminoácidos esenciales), cuando fue consumido ya sea inmediatamente antes o después de una única sesión de entrenamiento de sobrecarga a una intensidad del 80% de una repetición máxima (1 RM) [9]. Los autores concluyeron que el efecto sobre el nivel neto de PRO (ruptura vs. síntesis) fue mayor cuando el suplemento fue ingerido antes del ejercicio.

Ellos especularon que el incremento en los niveles de aminoácidos séricos, que se dio cuando los niveles de flujo sanguíneo a los tejidos se incrementaron significativamente, probablemente condujo a un incremento en la síntesis de PRO [9]. Los mismos autores subsiguientemente compararon los cambios en el metabolismo de las PRO luego de la ingesta de 20 g de PRO de suero, tanto inmediatamente antes, o después de una única sesión de entrenamiento de sobrecarga al 80% de 1 RM [31]. En este caso los autores concluyeron en que fue encontrada una respuesta pro-anabólica cuando la PRO de suero fue ingerida tanto antes como después del entrenamiento de sobrecarga, pero no fueron encontradas diferencias entre los dos momentos de administración [31]. Los hallazgos de estos estudios sugieren que la ingesta de aminoácidos y CHO, o PRO de suero, antes del entrenamiento de sobrecarga pueden estimular en forma máxima la síntesis de PRO después de la finalización de una sesión de ejercicio [9, 31].

Muchos estudios han explorado el uso de la ingesta de PRO y CHO pre-ejercicio para prevenir el daño muscular agudo inducido por el ejercicio [13], así como el daño que puede ocurrir durante períodos prolongados de entrenamiento de sobrecarga regular [8, 10-12, 32].

Autores [referencia]	Participantes	Tiempo antes del ejercicio cuando se realizó la ingesta (min)	Cantidad de CHO	Régimen de Ejercicio	Efecto sobre el Rendimiento
Chryssanthopoulos et al. [27]	Cinco hombres entrenados, cinco mujeres entrenadas	30	75 g de glucosa	Carrera hasta el agotamiento al 70% del VO ₂ máx.	Ningún efecto
Devlin et al.[28]	Ocho hombres desentrenados	30	43 g de sucrosa	Ciclismo hasta el agotamiento al 70% del VO ₂ máx.	Ningún efecto
Febbaio & Stewart [21]	Seis hombres entrenados	45	1 g de CHO.kg BW ⁻¹ de alto o bajo índice glucémico	Ciclismo por 2 h al 70% del VO ₂ máx. Y luego una prueba por tiempo de 15 min	Ningún efecto
Fielding et al. [96]	Seis hombres entrenados	30	75 g de glucosa, 75 g de fructosa, 150 mL de placebo	30 min de carrera al 70% del VO ₂ máx.	Ningún efecto sobre los niveles de glucosa
Foster et al. [23]	Ocho hombres entrenados, ocho mujeres entrenadas	30	70 g de glucosa	Ciclismo hasta el agotamiento al 80% del VO ₂ máx.	19% de disminución en el tiempo hasta el agotamiento
Gleeson et al. [97]	Seis hombres desentrenados	45	70 de glucosa	Ciclismo hasta el agotamiento al 70% del VO ₂ máx.	13% de incremento
Goodpaster et al. [98]	Diez hombres entrenados	30	1 g de almidón como amilasa o amilopectina.kg BW ⁻¹	90 min de ciclismo al 66% del VO ₂ máx. y luego una contrarreloj de 30 min	7% más de trabajo con la amilopectina
Hargreaves et al. [29]	Seis hombres entrenados	45	75 g de glucosa o 75 g de fructosa	Ciclismo hasta el agotamiento al 75% del VO ₂ máx.	Ningún efecto
McMurray et al. [30]	Seis hombres entrenados	45	100 g de glucosa o 100 g de fructosa	Carrera hasta el agotamiento al 80% del VO ₂ máx.	Ningún efecto
Okano et al. [24]	Doce hombres entrenados	60	60-85 g fructosa	Ciclismo hasta el agotamiento al 62-81% del VO ₂ máx.	Incremento del 7%
Sherman et al. [25]	Nueve hombres entrenados	60	75 o 150 g de polímero de glucosa	90 min de ciclismo al 70% del VO ₂ máx. y luego una prueba contrarreloj	13 % más rápido con la alimentación con CHO
Thomas et al. [26]	Ocho hombres entrenados	60	70 g de CHO, de alto o bajo GI	Ciclismo hasta el agotamiento al 65-70% del VO ₂ máx.	Los CHO de bajo GI incrementaron el rendimiento en un 20%
Smith et al. [99]	Diez hombres entrenados	5 o 35 min	10% de glucosa o placebo	4000 m de natación.	Ningún efecto significativo, sin embargo los tiempos aumentaron desde 24 s a 5 min

Tabla 1. Tabla de resumen de los estudios acerca de nutrición pre-ejercicio (adaptado de Hawley y Burke [22]). BW: peso corporal, GI: índice glucémico.

Un estudio publicado recientemente, evaluó a 27 adultos de sexo masculino, quienes consumieron ya sea un placebo (un endulzante no calórico) o una solución de CHO + PRO (75 g CHO + 23 g PRO), 15 min antes, o 15 min después de completar una sesión con contracciones excéntricas, que tenía el potencial de producir daño muscular. Aunque los autores reportaron que el nivel del marcador de daño muscular creatinquinasa había aumentado y que la producción de fuerza máxima del músculo había disminuido, la administración o *timing* de nutrientes no pareció alterar estos marcadores de daño muscular [13]. En otro estudio, los participantes ingirieron ya sea un suplemento multinutriente (CHO + PRO + grasas) o un placebo isoenergético que tenía maltodextrina durante siete días, antes de reportarse al laboratorio para dos días consecutivos de entrenamiento de sobrecarga [12]. En los dos días de ejercicio, el suplemento fue ingerido 30 min antes del inicio de la sesión de ejercicio. La suplementación multinutriente mejoró significativamente la potencia del salto vertical y el número de repeticiones realizadas al 80% de 1 RM. Además, la suplementación multinutriente incrementó significativamente los niveles séricos de tanto la hormona del crecimiento como de la testosterona libre y total durante y

después de las sesiones de ejercicio [12]. Estos últimos hallazgos sugieren que la ingesta pre-ejercicio puede también crear un ambiente hormonal anabólico favorable. En otro estudio que implicó entrenamiento de sobrecarga unilateral, la suplementación pre-ejercicio de PRO de suero y leucina resultó en mayores incrementos en la fuerza máxima [11]. Treintatré participantes varones completaron seis semanas de entrenamiento de sobrecarga unilateral para los miembros inferiores, mientras fueron asignados a ya sea un grupo de solo entrenamiento de sobrecarga (control), un grupo de entrenamiento de sobrecarga + CHO (placebo), o un grupo de entrenamiento de sobrecarga + 20 g de PRO de suero + 6 g de leucina. Los autores concluyeron que la suplementación pre-ejercicio de las PRO de suero + leucina promovieron incrementos significativamente mayores en la fuerza (+30,3%) cuando se la comparó con los grupos placebo equiparado para la ingesta energética (+22,4%) y control (+3,6%) [11]. Dos estudios adicionales también compararon la ingesta de CHO y PRO antes y después de 8 y 12 semanas de entrenamiento de sobrecarga, respectivamente. Un estudio comparó la ingesta pre- y post-ejercicio de 1,2 g.kg⁻¹ de PRO de suero + 0,3 g.kg⁻¹ de CHO, 1,2 g.kg⁻¹ de PRO de soja + 0,3 g.kg⁻¹ de CHO, o un placebo durante ocho semanas de entrenamiento de sobrecarga. Los autores encontraron que la suplementación con PRO incrementó significativamente la fuerza y la masa magra, cuando se la comparó con un placebo, pero no fueron encontradas diferencias entre las dos formas de PRO [32]. El segundo estudio implicó que los participantes realizaran entrenamiento de sobrecarga intenso (3 series de 6-8 repeticiones al 85-90% de 1RM) 4 días por semana durante 10 semanas [10].

Los participantes fueron asignados a ingerir ya sea 20 g de PRO (14 g de PRO de suero y caseína + 6 g de aminoácidos), o 20 g de CHO, antes y después de la sesión de ejercicio para un total de 40 g.día⁻¹ de PRO o CHO. Los individuos que consumieron el suplemento con proteínas experimentaron mayores incrementos en la masa corporal, masa libre de grasa, niveles séricos de IGF⁻¹, y niveles intramusculares de ARNm de IGF⁻¹, expresión de cadena pesada de miosina tipo I y IIa, y contenido proteico miofibrilar [10]. De forma colectiva, los últimos dos estudios mencionados proporcionan un apoyo adicional al concepto que indica que consumir PRO antes y después del ejercicio puede promover una mayor adaptación de entrenamiento que consumir solo un placebo de CHO en una cantidad isoenergética [10, 32].

Un estudio del 2006 de Cribb y Hayes [8] usó dos estrategias de alimentación diferentes para determinar el impacto del *timing* de nutrientes respecto a una sesión de ejercicio, para los cambios en la fuerza, hipertrofia muscular y composición corporal. Los participantes fueron instruidos para ingerir cantidades iguales de un suplemento que contenía PRO, Cr y CHO en una dosis de 1 g.kg⁻¹, ya sea inmediatamente antes o después de cada sesión de trabajo, o en la mañana y tarde de cada día de entrenamiento. Fueron encontrados incrementos significativamente mayores en la masa corporal magra, fuerza en 1RM, área de sección transversal de las fibras musculares tipo II, y mayores niveles de Cr y glucógeno muscular, cuando los suplementos fueron consumidos inmediatamente antes y después de las sesiones de trabajo [8]. En resumen, la ingesta de aminoácidos o PRO, ya sea sola o en combinación con CHO, en una proximidad temporal cercana a una sesión de ejercicio de sobrecarga, parece incrementar significativamente la síntesis de PRO musculares [9, 31]. Además, adoptar esta estrategia durante un programa de entrenamiento de sobrecarga resulta en mayores incrementos en la fuerza de 1RM y en una composición corporal más magra [8, 10-12, 32].

Resumen de los Hallazgos acerca de la Ingestión de Nutrientes antes del Ejercicio

Las reservas de glucógeno son limitadas y dependen considerablemente del nivel nutricional y la intensidad y nivel de entrenamiento del atleta [7, 14].

Las reservas de glucógeno endógenas pueden durar solo 90 min a tres horas durante el ejercicio moderado a intenso (65-85% del VO₂ máx.) [15].

La intensidad del ejercicio, ritmo y producción de potencia disminuyen a medida que los niveles de glucógeno disminuyen [14]. El agotamiento del glucógeno está asociado con incrementos en el nivel de ruptura de tejido muscular y supresión del sistema inmune [16, 17].

Las máximas reservas de glucógeno endógeno son mejores promovidas siguiendo una dieta elevada en CHO de alto índice glucémico (600-1000 g o ~ 8-10 g.kg⁻¹.d⁻¹) [2, 3, 15].

El contenido óptimo de CHO y PRO de una comida pre-ejercicio depende de una serie de factores que incluyen la duración del ejercicio y el nivel de aptitud física, pero los lineamientos generales recomiendan la ingesta de 1-2 g de CHO.kg⁻¹ y 0,15-0,25 g de PRO.kg⁻¹ 3-4 horas antes de una competición [15].

La ingestión pre-ejercicio de aminoácidos esenciales o PRO solas incrementa la síntesis de proteínas musculares. Además, ha sido demostrado que ingerir PRO + CHO antes del ejercicio produce niveles significativamente mayores de síntesis de proteínas musculares [9, 31].

La ingesta regular de diferentes fuentes de PRO junto con CHO, estimula mayores incrementos en la fuerza e impacta favorablemente en la composición corporal en comparación a la ingesta de CHO solos [8, 10, 11].

TIMING DE NUTRIENTES: DURANTE EL EJERCICIO

Más allá de la consideración de la suplementación de nutrientes pre-ejercicio, la mayor parte de la literatura que ha estudiado el impacto de la administración de nutrientes durante el ejercicio se ha centrado sobre el ejercicio aeróbico [33-36], con un menor énfasis sobre la administración de nutrientes durante los ejercicios de sobrecarga [37-41].

Administración de Glucosa durante el Ejercicio de Resistencia

Las investigaciones iniciales, que trataron la administración de nutrientes durante el ejercicio estudiaron en profundidad el transporte óptimo de CHO en un esfuerzo de sostener la glucosa sanguínea. Por ejemplo, los investigadores australianos hicieron que ocho ciclistas altamente entrenados completaran dos pruebas al 70% del VO_2 máx. hasta el punto de la fatiga volitiva [42]. Antes del ejercicio, y cada 15 min a lo largo de toda la prueba, a los participantes se les dio para ingerir, ya sea un placebo o una solución de CHO al 8%. La ingestión de la solución con CHO estuvo asociada con un incremento del 30% en el tiempo para alcanzar el agotamiento, o un período de tiempo 47 min más prolongado de ciclismo cuando se lo comparó con la condición placebo [42]. Widrick y colegas [35] hicieron que los participantes completaran 70 km de una prueba contrarreloj en la que los sujetos determinaban su propio ritmo bajo cuatro condiciones diferentes: 1) glucógeno elevado ($180,2 \pm 9,7$ mmol.kg de peso húmedo⁻¹) + bebida con CHO; 2) glucógeno elevado ($170,2 \pm 10,4$ mmol.kg de peso húmedo⁻¹) + bebida sin CHO; 3) glucógeno bajo ($99,8 \pm 6,0$ mmol.kg de peso húmedo⁻¹) + bebida con CHO; 4) glucógeno bajo ($109,7 \pm 5,3$ mmol.kg de peso húmedo⁻¹) + bebida sin CHO [35]. La bebida con CHO fue ingerida al inicio del ejercicio y cada 10 km después, lo cual proporcionó 116 ± 6 g de CHO por prueba. La administración de CHO mantuvo la glucosa sanguínea, mientras que la misma disminuyó significativamente bajo las condiciones sin CHO. A través del 14% final de la prueba contrarreloj (9,8 km), la producción de potencia y el ritmo fueron significativamente menores en la condición glucógeno bajo + ausencia de CHO, cuando se la comparó a las otras tres condiciones. Los resultados de este estudio sugieren que el aporte exógeno de CHO durante el entrenamiento no es tan importante si los niveles iniciales de glucógeno son elevados, y si los niveles de glucógeno son bajos, la ingestión de CHO durante el ejercicio va a probablemente mejorar el rendimiento. En una investigación similar, nueve atletas entrenados consumieron tanto una solución con CHO como una sin CHO de control, mientras completaban una sesión de 90 min de carrera intermitente de alta intensidad [34]. La solución con CHO tenía una concentración de 6,9% y fue inicialmente proporcionada inmediatamente antes del ejercicio, y subsiguientemente cada 15 min después de que la sesión de ejercicio había comenzado.

Cuando fueron ingeridos los CHO, los participantes fueron capaces de correr significativamente más en comparación a la condición de control, proporcionando evidencia adicional que indica que la disponibilidad de CHO puede ser importante para el rendimiento en los ejercicios continuos [34]. Un estudio adicional que destacó la importancia del transporte de CHO durante el ejercicio de resistencia, fue realizado por Febbraio et al. en el 2000 [33]. Este estudio, como muchos en este campo de investigación, utilizó como participantes a ciclistas entrenados. Los ciclistas realizaron una sesión de 120 min de ciclismo al 63% de su potencia pico bajo cuatro condiciones: 1) placebo antes y durante el ejercicio [PP]; 2) placebo 30 min antes + CHO (2 g.kg^{-1} en una solución de CHO al 6,4%) durante el ejercicio [PC]; 3) CHO (2 g.kg^{-1} en una solución de CHO al 25,7%) antes del ejercicio + placebo durante el ejercicio [CP] o 4) CHO (2 g.kg^{-1} en una solución de CHO al 25,7%) antes del ejercicio + CHO (2 g.kg^{-1} en una solución de CHO al 6,4%) [CC] durante el ejercicio. La tasa de desaparición y aparición de glucosa sanguínea, y el rendimiento en la prueba contrarreloj fue mayor en las pruebas CC y PC, cuando se las comparó con la condición PP. Los autores concluyeron en que la ingesta pre-ejercicio de CHO mejora el rendimiento solo cuando la ingesta de CHO es mantenida a través de todo el ejercicio, y la ingesta de CHO durante 120 min de ciclismo mejora el rendimiento en una prueba contrarreloj subsiguiente [33]. De manera similar, un estudio de Fielding et al. reportó que la ingesta más frecuente de CHO ($10,75 \text{ g}$ de CHO en 200 mL de agua, solución de CHO de ~ 5%) a intervalos de 30 min respecto a ingestas mayores (dosis de 86 g) a intervalos de 60 min a través de una sesión de ciclismo de cuatro horas, sostuvieron de manera igual la glucosa sanguínea y la actividad de la insulina, pero el menor intervalo de ingesta facilitó la realización de un esprint hasta el agotamiento significativamente más prolongado al final del ejercicio [43]. Estos hallazgos entran en conflicto con los de Burke et al. [44], quienes no reportaron un impacto de una comida rica en carbohidratos antes del ejercicio sobre el rendimiento en una prueba contrarreloj subsiguiente. Finalmente, un estudio del 2007 investigó la capacidad del consumo de un preparado de CHO en gel para mantener los niveles de glucosa y mejorar el rendimiento durante una carrera intermitente de alta intensidad en jugadores de fútbol [45]. Tal como en estudios anteriores que han usado soluciones de CHO, el gel con CHO promovió mayores niveles de glucosa sanguínea y facilitó la mejora del rendimiento en una carrera intermitente, cuando se lo comparó con el placebo [45]. En resumen, mucha evidencia sugiere que la ingestión de CHO durante el ejercicio de resistencia constituye una estrategia bien establecida para sostener los niveles de glucosa sanguínea, ahorrar glucógeno [6], y potencialmente promover mayores niveles de rendimiento. El lector interesado es alentado a consultar las siguientes revisiones [15, 46-49].

Mezcla de Carbohidratos para Incrementar la Oxidación de los Mismos

Un área de investigación bastante nueva ha estudiado el impacto de mezclar diferentes formas de CHO en un esfuerzo para promover mayores niveles de oxidación de CHO durante el ejercicio prolongado.

Está bien aceptado que las tasas máximas de oxidación de CHO están comúnmente alrededor de 1 g de CHO por minuto o 60 g por hora [15, 48]. Un incremento en la disponibilidad de CHO exógenos, y la subsiguiente oxidación, va a resultar en una mejora del mantenimiento de la glucosa sanguínea y menos dependencia sobre las reservas de glucógeno hepáticas y musculares. Por ejemplo, estudios recientes han ilustrado un incremento de 21% en la oxidación de CHO hasta 1,2 g de CHO.min⁻¹ después de ingerir una mezcla de glucosa y sucrosa [50]; mientras que una combinación de maltodextrina y fructosa fue responsable de un incremento de 40% en los niveles pico de oxidación de CHO hasta aproximar 1,5 g.min⁻¹ por sobre la maltodextrina sola durante ciclismo prolongado al 60-65% del VO₂ máx. [51]. Efectivamente, los hallazgos de este equipo de investigación han reportado regularmente tasas de oxidación de CHO mejoradas, desde 1,2-1,75 gramos de CHO por minuto [50, 52-55]. Más recientemente, un estudio del 2008 realizado por este mismo grupo de investigación, reportó un incremento de 8% en el rendimiento en una prueba contrarreloj después de 120 min de ciclismo al 55% de los vatios máximos, cuando se ingirió una combinación de glucosa y fructosa durante el ejercicio [56]. Debería ser señalado que la fructosa no es frecuentemente usada como suplemento de CHO, debido a su potencial para causar molestias gastrointestinales.

Adición de Proteínas o Aminoácidos a los Carbohidratos durante el Ejercicio de Resistencia

La adición de PRO y CHO durante el ejercicio, también ha sido investigada como un medio de mejorar el rendimiento y facilitar la recuperación. En un estudio, los participantes completaron 3 h de ciclismo al 45-75% del VO₂ máx., lo cual fue seguido por una prueba de tiempo hasta el agotamiento al 85% del VO₂ máx. Durante cada sesión, los participantes consumieron ya sea un placebo, una solución de CHO al 7,75% o una solución con 7,75% de CHO y 1,94% de PRO. Mientras que el grupo que ingirió solo CHO incrementó el tiempo hasta el agotamiento (19,7±4,6 min) respecto al grupo placebo (12,7±3,1 min), la adición de PRO resultó en un rendimiento todavía mayor (26,9±4,5 min) [57].

Un trabajo de Saunders et al. estudió el impacto de la combinación de CHO y PRO por su capacidad de mejorar el rendimiento y minimizar el daño muscular [58]. Los ciclistas se ejercitaron hasta el agotamiento en dos ocasiones diferentes separadas por 12-15 h. Durante el ejercicio, todos los participantes ingirieron una solución de CHO al 7,3%, o una solución de CHO al 7,3% y PRO al 1,8%, cada 15 min durante el ejercicio y después del mismo. Los niveles de ingesta de CHO fueron los mismos para cada grupo, aunque la ingesta calórica total fue diferente (debido a la energía aportada por las PRO adicionadas). Ocurrió un incremento de 29% después de la primera serie de ejercicio, y un 40% de incremento en el rendimiento después de la segunda serie de ejercicio para el grupo CHO + PRO, cuando se lo comparó con el grupo CHO. Además, los niveles post-ejercicio de marcadores de daño muscular fueron 83% menores, lo que sugiere que el suplemento con CHO + PRO ayudó a atenuar el daño muscular asociado con el ejercicio prolongado y agotador [58]. Un estudio del 2007 realizado por el mismo grupo de investigación, usó un diseño de estudio similar con un gel con CHO + PRO durante el ejercicio y encontró que el gel nuevamente mejoró el rendimiento en un 13% por sobre el placebo [59]. Además, un estudio del 2004 reclutó atletas de ultra-resistencia para comparar el impacto de los CHO y CHO + PRO sobre los cambios en el *turnover* o recambio de proteínas y la recuperación después de 6 h de ejercicio de resistencia [36]. El balance de PRO fue negativo durante la condición con CHO, pero estos hallazgos fueron parcialmente revertidos (el balance de proteínas era todavía negativo, pero en un menor grado), cuando las PRO fueron adicionadas al suplemento. Los autores concluyeron en que combinar PRO y CHO mejora el balance neto de PRO en reposo, así como durante el ejercicio y en la recuperación post-ejercicio [36].

Adición de Proteínas, Aminoácidos y Carbohidratos durante el Entrenamiento de Sobrecarga

El transporte de nutrientes durante series únicas de entrenamiento de sobrecarga ha sido usado para determinar el impacto de los cambios en el glucógeno muscular [40], mitigación del daño muscular [13, 37], y la promoción de una respuesta anabólica [38, 39, 41]. A través del transcurso de una carga de trabajo de sobrecarga de 40 min utilizando los miembros inferiores, fueron proporcionados 1,0 g de CHO.kg⁻¹ antes del ejercicio y 0,5 g de CHO.kg⁻¹ cada 10 min a través de toda la sesión para determinar cambios en el glucógeno muscular [40].

Las disminuciones en el glucógeno muscular fueron contrarrestadas en un 49% cuando los CHO fueron proporcionados antes y durante el entrenamiento de sobrecarga. Los autores concluyeron en que la suplementación con CHO, antes y durante el entrenamiento de la fuerza, puede mantener las reservas de glucógeno y mejorar los beneficios del entrenamiento [40].

El aporte de nutrientes durante el ejercicio también ha sido investigado por su capacidad de contrarrestar el daño muscular después del ejercicio de resistencia de alta intensidad [37]. Baty y colegas [37] hicieron que 34 hombres completaran una sesión aguda de entrenamiento de sobrecarga (3 series de 8 rep. al 90% de 1RM), mientras consumían ya sea una solución con CHO (6,2% de CHO) o una solución con CHO + PRO (6,2% CHO + 1,5% PRO) antes, durante y

después de una sesión de ejercicio.

Mientras que no fueron encontrados cambios en el rendimiento, los autores reportaron niveles significativamente mayores de la hormona anabólica insulina y niveles significativamente menores de la hormona catabólica cortisol en los participantes que ingirieron la solución con CHO + PRO, en comparación a la solución con CHO en diferentes puntos después del ejercicio. Además, los niveles séricos de mioglobina fueron menores durante e inmediatamente después del ejercicio y la creatinquinasa fue significativamente menor 24 horas post-ejercicio, cuando fue proporcionado el suplemento con CHO + PRO. Los autores concluyeron que la solución con CHO + PRO no tuvo impacto sobre el rendimiento, pero disminuyó los marcadores séricos de daño muscular durante y varias horas después de la finalización del ejercicio de sobrecarga [37].

Dos estudios exploraron los cambios en la degradación de proteínas y los incrementos en los niveles séricos de cortisol con la ingesta de una solución de CHO + PRO (6% CHO + 6% aminoácidos esenciales) durante una sesión única de entrenamiento de sobrecarga [38, 39]. Durante ambos estudios, 32 participantes completaron una sesión de entrenamiento de sobrecarga de 60 min, mientras consumían ya sea una solución con CHO al 6%, una solución con CHO al 6% + 6 g de aminoácidos esenciales (EAA), o una bebida placebo. Los niveles séricos de cortisol se incrementaron un 105% en el grupo placebo, mientras que los cambios en los grupos CHO y CHO + EAA fueron de 11 y 7%, respectivamente. Además, los niveles urinarios de 3-metil-histidina (un marcador de la ruptura de proteínas musculares) se redujo en un 27% en el grupo CHO + EAA, mientras que estos valores se incrementaron en un 56% en el grupo placebo [38, 39]. Los autores concluyeron que la supresión de la ruptura de PRO y los niveles de cortisol puede ayudar a promover la acumulación de PRO musculares con períodos prolongados de entrenamiento de sobrecarga y suplementación. Su trabajo final estudió la influencia de un programa de entrenamiento de sobrecarga de 12 semanas en combinación con suplementación con CHO y EAA. En conjunto, con estos dos estudios anteriores, durante el entrenamiento de sobrecarga fue consumida una solución con 6% de CHO, 6% de CHO + 6 g de EAA, o placebo. Fueron medidas la insulina y el cortisol séricos, los marcadores urinarios de la degradación de PRO y el área de sección muscular también [41]. La ingesta de CHO + PRO correspondió con una disminución del 26% en los marcadores de ruptura de PRO, mientras que el grupo placebo incrementó la ruptura de PRO en un 52%.

Además, el área de sección transversal muscular de las fibras tipo I, IIa, y IIb se incrementó en el grupo CHO + PRO, el cual evidenció las mayores ganancias relativas al grupo placebo. Los autores concluyeron en que la suplementación con CHO + PRO con el entrenamiento de sobrecarga prolongado mejora el anabolismo muscular, cuando se compara a la ingesta de solo CHO, o un placebo, maximizando la respuesta anabólica y atenuando la respuesta catabólica [41]. De forma similar, un estudio de 2008 realizado por Beelen et al. [60] requirieron que los participantes ingirieran un bolo de CHO + PRO a una dosis de $0,15 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de peso corporal antes de iniciar el ejercicio y a intervalos de 15 min durante una sesión de dos horas de entrenamiento de sobrecarga.

El suplemento con CHO + PRO disminuyó la tasa de ruptura de PRO en un $8,4\pm 3,6\%$ e incrementó la síntesis fraccional de proteínas en un $49\pm 22\%$, lo cual resultó en un incremento de 5 veces en el balance de PRO. En forma general, las investigaciones apoyan la conclusión que indica que la ingesta de nutrientes tales como CHO solos, o en combinación con PRO, durante el ejercicio de sobrecarga, puede ayudar a promover mayores niveles de glucógeno muscular, incrementar el área de sección transversal muscular y disminuir el catabolismo de PRO [38-41].

Resumen del Aporte de Nutrientes durante el Ejercicio

La disponibilidad de CHO durante el ejercicio y los niveles de glucógeno muscular son los principales determinantes del rendimiento de resistencia. La administración de CHO se vuelve aun más importante cuando los niveles de glucógeno muscular están bajos al inicio del ejercicio [35, 42].

A medida que se incrementa la duración del ejercicio más allá de los 60 min, las fuentes exógenas de CHO se vuelven importantes para mantener la glucosa sanguínea y las reservas de glucógeno muscular. Esta fuente de CHO debería aportar 30-60 g de CHO por hora y puede ser aportada de manera característica bebiendo 1-2 tasas de una solución de CHO al 6-8% (187-374 g de fluido) cada 10-15 min [49].

Ha sido demostrado que mezclar diferentes formas de CHO incrementa la oxidación de CHO musculares desde $1,0 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ hasta niveles que están entre $1,2\text{-}1,75 \text{ g}\cdot\text{min}^{-1}$ [50, 52-54]; un efecto que está asociado con una mejora en el rendimiento en pruebas contrarreloj [56].

La glucosa, fructosa y maltodextrina pueden ser usadas en combinación, pero no son recomendadas grandes cantidades de fructosa, debido a la mayor probabilidad de que ocurran problemas gastrointestinales.

Ha sido demostrado que la adición de PRO a los CHO con una relación 3-4:1 (CHO:PRO) incrementa el rendimiento de resistencia durante tanto el ejercicio agudo como las sesiones subsiguientes de entrenamiento de resistencia [57, 58].

La ingesta de CHO solos, o en combinación con PRO durante el entrenamiento de sobrecarga, incrementa las reservas de glucógeno muscular [40], contrarresta el daño muscular [37], y facilita mayores adaptaciones al entrenamiento después de períodos agudos [38, 39] y prolongados de entrenamiento de sobrecarga [41].

TIMING DE NUTRIENTES: POST-EJERCICIO

Muchas intervenciones nutricionales han sido consideradas por mejorar la recuperación luego del ejercicio. El cuerpo de investigaciones publicadas apoya la práctica de ingerir nutrientes para mejorar el rendimiento, tanto para los que entrenan resistencia como fuerza. También hay bastante evidencia que apoya el valor de la suplementación nutricional post-ejercicio como un medio de mejorar la recuperación del glucógeno intramuscular, proporcionando un estímulo positivo para los cambios agudos en la cinética de los aminoácidos, y mejoramiento del balance neto de PRO, así como la mejora de la adaptación general al entrenamiento de sobrecarga.

Maximización de la Resínteisis de Glucógeno Muscular

Ha sido demostrado que los atletas que ingieren 1,5 g de CHO.kg⁻¹ de peso corporal dentro de 30 min después del ejercicio experimentan una mayor tasa de resínteisis de glucógeno muscular que cuando la suplementación es retrasada en dos horas, principalmente debido a una mayor sensibilidad del músculo a la insulina [61]. Además, tanto las formas sólidas como líquidas de CHO promueven niveles similares de resínteisis de glucógeno [15, 62, 63].

Además, las diferentes formas de CHO tienen diferentes efectos sobre los niveles de insulina, estando la ingestión de glucosa asociada con menores niveles de resínteisis de glucógeno que otras formas de carbohidratos simples [64]. Ha sido demostrado que retrasar la ingesta de CHO en tan poco como dos horas puede reducir la tasa de resínteisis de glucógeno muscular en un 50% [61]. Sin un atleta presenta agotamiento del glucógeno después del ejercicio, una ingesta de CHO de 0,6-1,0 CHO.kg⁻¹.h⁻¹ durante los primeros 30 minutos, y nuevamente cada 2 horas por 4-6 horas, puede restituir adecuadamente las reservas de glucógeno [65, 66]. De manera similar, han sido alcanzadas tasas máximas de resínteisis de glucógeno cuando son consumidos 1,2 g de CHO.kg⁻¹.h⁻¹ cada 15-30 minutos [65, 67]. Consecuentemente, la ingestión frecuente de CHO en altas cantidades a través de 4-6 horas luego del ejercicio, está recomendada para asegurar la recuperación del glucógeno muscular y hepático [15, 49]. Estudios adicionales también han reportado que los niveles máximos de glucógeno pueden ser restituidos dentro de 24 h si están disponibles niveles óptimos de CHO (8 g CHO.kg⁻¹.día⁻¹) y el grado de agotamiento de glucógeno no es muy severo [62]. Una ingesta de 9-10 CHO.kg⁻¹.día⁻¹ está sugerida para atletas que están completando sesiones de ejercicio intenso en días consecutivos [68].

Diferentes estudios han sugerido que adicionar la suplementación con PRO a los CHO después del ejercicio puede ayudar a promover una mayor recuperación del glucógeno muscular y atenuar el daño muscular. Ivy y colegas [69] instruyeron a ciclistas a completar una sesión de 2,5 h de ciclismo de alta intensidad antes de ingerir un suplemento con ya sea CHO + PRO + grasas (80 g de CHO, 28 g de PRO, 6 g de grasas), pocos CHO (80 g, 6 g de grasas), o muchos CHO (108 g de CHO 6 g de grasas), inmediatamente después del ejercicio y 2 h post-ejercicio para determinar si la combinación de CHO + PRO + grasas promueve una mayor restitución del glucógeno muscular. Mientras que la restitución del glucógeno no difirió entre las dos condiciones de CHO [pocos CHO (70,0±4,0 mmol.kg de peso húmedo⁻¹) y muchos CHO (75,5±2,8 mmol.kg de peso húmedo⁻¹)], los niveles de glucógeno muscular fueron significativamente mayores (p<0,05) en el tratamiento con CHO + PRO + grasas (88,8±4,4 mmol.kg de peso húmedo⁻¹). Los autores concluyeron en que la suplementación con CHO + PRO + grasas puede ser más efectiva, debido a que provoca una respuesta insulínica más pronunciada [66, 69, 70]. De manera similar, los estudios de Berardi y Tarnopolsky [71, 72] utilizaron a ciclistas para que completaran sesiones de ejercicio de 60-90 min en ocasiones separadas, antes de ingerir CHO + PRO o CHO solos. Ambos autores concluyeron en que la ingesta del preparado con CHO resultó en una mayor restitución del glucógeno muscular en comparación a una condición placebo. Berardi [71], sin embargo, reportó niveles de glucógeno todavía mayores cuando la combinación de CHO + PRO fue consumida post-ejercicio.

Además, ha sido reportado que la disponibilidad de aminoácidos esenciales (EAA) luego del ejercicio, especialmente aminoácidos de cadena ramificada, influencia la recuperación, optimizando la resínteisis de PRO, así como las tasas de resínteisis de glucógeno después del ejercicio [61, 69, 70, 72-74]. Tal como sugieren estos estudios, la ingesta de CHO (1-1,5 g.kg⁻¹.día⁻¹) dentro de 30 min luego de la finalización de una sesión de ejercicio, promueve la restitución del glucógeno muscular, mientras que la adición de PRO puede tener beneficios adicionales para mejorar tanto la resínteisis de glucógeno y PRO musculares.

Cambios Agudos en la Cinética de Aminoácidos y Balance de Proteínas

Una sola serie de entrenamiento de sobrecarga estimula moderadamente la síntesis de PRO, pero también estimulan la

ruptura de PRO, lo cual resulta en un balance general negativo de PRO después del ejercicio [75, 76]; un efecto que desplaza el balance de PRO más hacia un punto neutral a medida que progresa el entrenamiento [76]. La infusión o ingestión de aminoácidos incrementa las concentraciones de aminoácidos en reposo o después del entrenamiento de sobrecarga [77]. Además, proporcionar CHO en combinación con aminoácidos inmediatamente antes o después del ejercicio puede incrementar más la disponibilidad de aminoácidos y la síntesis de PRO post-ejercicio [73, 78].

Consecuentemente, incrementar la concentración y disponibilidad de aminoácidos en la sangre constituye una consideración importante cuando se intenta promover incrementos en el tejido magro y mejorar la composición corporal con el entrenamiento de sobrecarga [77, 79].

La ingestión de una dosis grande de CHO (100 g) sola y dentro de 1 h después del ejercicio causa incrementos pequeños en la síntesis general de PRO, mientras mantiene un balance neto negativo de PRO [78]. Mientras que ningún estudio ha encontrado que los CHO sean perjudiciales, no son el nutriente ideal (en forma aislada) para consumir después del entrenamiento de sobrecarga. Sin embargo, su inclusión constituye una consideración importante respecto a la estimulación de la resíntesis de glucógeno y a la mejora de la palatabilidad [69, 72].

Sin embargo, ha sido demostrado de manera rutinaria que los EAA, en dosis que van desde 6 a 40 g, juegan un rol principal para promover la síntesis de PRO musculares [74, 80], aunque adicionar CHO a los mismos puede mejorar su efecto [9, 81].

Respecto al *timing* post-ejercicio, ha sido demostrado que la ingestión de aminoácidos después del entrenamiento de sobrecarga en muchos puntos de tiempo diferentes para estimular el incremento en la síntesis de PRO musculares, causa cambios mínimos en la ruptura de PRO e incrementa el balance general de PRO [74, 75, 80]. Desafortunadamente, todavía no ha sido demostrado el punto de tiempo óptimo para la suplementación. Han sido encontrados cambios similares en los estudios que han administrado aminoácidos solos, o con CHO, inmediatamente, 1 h, 2 h y 3 h después del ejercicio [9, 74, 79, 81].

Levenhagen et al. [82] encontraron que después de la ingestión de 10 g de PRO + 8 g de CHO + 3 g de grasa, ya sea inmediatamente o 3 h después de 60 min de ejercicio de moderada intensidad, la captación de glucosa muscular de la pierna y la utilización de glucosa de todo el cuerpo estuvieron elevadas tres veces y un 44%, respectivamente. La síntesis de PRO de los músculos de la pierna y de todo el cuerpo estuvo incrementada tres veces y 12%, respectivamente. Además, Tipton y colaboradores [9] suplementaron a los sujetos con 35 g de sucrosa + 6 g de EAA inmediatamente antes e inmediatamente después de una sesión única de entrenamiento de sobrecarga. Ellos reportaron niveles significativamente mayores de síntesis de PRO, cuando los nutrientes fueron ingeridos inmediatamente antes de la sesión de ejercicio. En resumen, la dosis óptima y la relación entre EAA y CHO necesaria para optimizar el balance de proteínas no son conocidas en la actualidad. Los estudios que usaron técnicas similares para medir la cinética de las proteínas durante el entrenamiento de sobrecarga han usado solo 6 g de EAA, 6 g de EAA + 6 g de aminoácidos no esenciales, solo 12 g de EAA, 17,5 g de PRO de suero, 20 g de la PRO caseína, 20 g de PRO de suero, 40 g de una mezcla de aminoácidos, y solo 40 g de EAA; todos encontraron incrementos similares en la síntesis y balance de PRO [9, 73, 77].

Mientras que la relación de CHO y PRO requiere investigaciones adicionales, un enfoque práctico utilizado frecuentemente es el de consumir un suplemento que contenga CHO + PRO en una relación 3:1 o 4:1, dentro de 30 min luego del ejercicio, lo cual se traduce en 1,2-1,5 g.kg⁻¹ de CHO simples (e.g., dextrosa, sucrosa) con 0,3-0,5 g.kg⁻¹ de PRO de calidad que contengan EAA [73, 74, 83]. Un resumen de los hallazgos relevantes es presentado en la Tabla 2.

Autores Ref.1	Participantes	Suplementos/ Dosis	Tiempo de Administración	Tipo de Ejercicio	Muestras	Hallazgos del Estudio
Biolo et al. [77]	6 hombres desentrenados	Infusión de una mezcla balanceada de AA (0.15g.kg ⁻¹ .h ⁻¹ por 3 h)	Dos condiciones: Reposo Post-ejercicio	Rutina de ejercicios de sobrecarga para la pierna	Biopsias musculares Muestra de sangre arteriovenosa (A/V) por 3 h post-ejercicio.	Síntesis de PRO post-ejercicio>reposo. El transporte de AA se incrementó 30-100% post-ejercicio. En comparación con el reposo: La ingesta de PRO inmediatamente post-ejercicio puede ser más anabólica que en otros momentos.
Borsheim et al. [78]	16 participantes recreacionalmente activos (10 V, 6 M)	Dos condiciones: 100 g CHO solución placebo (PLA)	Ingestión oral 1 h post-ejercicio	Press de piernas (10 x 8 rep.) al 80% de 1RM antes de 4 h de descanso en cama 2 min de descanso entre series.	Sangre A/V cada 20 min durante 4 h post-ejercicio 4 biopsias (1 pre-/3 post-ejercicio).	La ingesta de CHO mejoró el balance de PRO después del RE. Sin embargo, el efecto fue menor y retrasado en comparación con la ingestión de AA.
Tipton et al. [9]	3 M, 3 V completaron una sesión PRE y POST	EAC: 6 g EAA + 35 g CHO PLA – agua endulzada	PRE: Solución EAC pre-ejercicio. POST: Solución EAC post-ejercicio.	Prensa y ext. de piernas, 8-10 rep. al 80% de 1RM 2 min de reposo entre series.	16 muestras sanguíneas venosas y arteriales, pre-, durante y post-ejercicio a través de 180 min. Biopsias musculares a los min 0, 60, y 120.	El transporte de AA se incrementó con el ejercicio y 2 h después en ambos tratamientos. La síntesis de PRO se incrementó en comparación a la condición post-ejercicio. La captación de AA en el grupo PRE se incrementó un 160% más que en el grupo POST. EAC promovió un balance de nitrógeno (N) positivo en ambos tratamientos.
Borsheim et al. [100]	8 participantes integraron cada tratamiento	Dosis oral de 77.4 g de CHO + 17.5 g de PRO de suero + 4.9 g de AA (PAAC) 100 g de CHO (P)	1 h post-ejercicio	Ejercicio de sobrecarga	Fueron recolectadas muestras de la arteria y vena femoral, y biopsias musculares durante 3 h post-ejercicio.	PAAC causó un incremento inmediato y un incremento retrasado en el balance de proteínas. PAAC estimuló un mayor incremento en la síntesis de PRO vs. CHO después del ejercicio de sobrecarga.
Tipton et al. [79]	3 M, 3 V	Tres soluciones: 40 g de CHO (PLA) 40 g mezcla de AA 40 g de EAA	Consumo continuo (100 ml) cada 15-20 min desde 1 h hasta 4 h post-ejercicio.	Press de piernas (5 x 10 rep. Al 75% de 1 RM) Sentadilla, flexión/ext. de piernas (4 x 8 rep. Al 75% de 1RM).	Sangre arteriovenosa a los min 30, 120, 220, 260 y 270. Las biopsias musculares fueron tomadas al min 270.	Tanto la MAA como los EAA incrementaron el balance neto de proteínas. La ausencia de diferencia en el balance de proteínas entre la MAA y los EAA sugiere que los NEAA no son necesarios para causar síntesis de proteínas.
Tipton et al. [101]	4 M, 3 V	Dos condiciones Reposo + EAA + Ejercicio	15 g de una solución con EAA antes y después de la sesión de ejercicio.	8 x 8 rep. al 80% de 1RM 2 min de descanso entre series.	Cinco biopsias y muestras de sangre A/V fueron tomadas a través de todo el protocolo de 24 h.	El intercambio de AA y proteínas (ES-Reposo) a las 3 y 24 h no fue diferente. La respuesta aguda del músculo a la ingesta de EAA + EA es aditiva al reposo y así refleja la respuesta de 24 h.
Tipton et al. [31]	23 hombres y mujeres jóvenes, sanos y desentrenados	Tres condiciones: Placebo (PLA) Caseína (CAS) Proteínas de suero (WP)	1 h post-ejercicio	Ext. de piernas 10 x 8 rep. al 80% de 1 RM Pausa de 2 min entre series.	Muestras de sangre A/V femoral por 3 h post-ejercicio. 4 biopsias (pre-, 1 h, 2 h, 5 h post-ejercicio)	Tanto las WP como la CAS incrementaron el balance de PRO para promover síntesis de PRO. La captación de AA se incrementó después del ejercicio en ambos grupos.
Rasmussen et al. [83]	3 V, 3 M recreacionalmente activos, en estado post-absortivo	Bebida placebo (PLA) Bebida con EAA + CHO (35 g de CHO + 6 g de EAA)	Dos condiciones: PLA 1 h post-ejercicio + EAA + CHO 3 h post-ejercicio, EAA + CHO 1 h post-ejercicio + PLA 3 h post-ejercicio	8-10 series x 8 rep. al 80% de 1RM 2 min de reposo entre series.	11 muestras de sangre A/V a través de 7 h. Biopsias musculares a los 45 min, 2 h y 4 h post-ejercicio.	Sin cambios en la condición PLA. En la condición EAA + CHO se incrementó el balance de PRO y la síntesis de PRO 1 h y 3 h post-ejercicio. No hubo incrementos en la síntesis y balance de PRO en la hora 3 vs. la 1, siendo estos valores mayores en ambos momentos que en la condición post-ejercicio.
Borsheim et al. [74]	3 V, 3 M recreacionalmente activos	6 g de EAA	2 dosis orales de 6 g de EAA a 1 y 2 h post-ejercicio.	8-10 series x 10 rep. de prensa y ext. de piernas al 80% de 1 RM 2 min de pausa entre series.	4 biopsias musculares post-ejercicio. Muestras sanguíneas de las venas y arterias femorales cada aprox. 20 min durante 4 h post-ejercicio.	El balance de PRO se incrementó en respuesta a ambas bebidas y disminuyó cuando la [AA] regresó a los niveles basales. Los AA no esenciales no son necesarios para incrementar el balance de PRO. La síntesis de PRO es dosis dependiente de la [EAA].
Boirie et al. [92]	16 participantes sanos y jóvenes (24±4 años)	30 g de PRO de suero 43 g de caseína ([Leu] igual) 30 g de PRO de suero no etiquetada 30 g de caseína no etiquetada 43 g de caseína no etiquetada	Prueba de alimentación. Todas las condiciones fueron ingeridas al mismo tiempo.	Ninguno	Muestras sanguíneas A/V por todo el período de 7 h.	La caseína prolongó el plateau de alta [AA] inhibiendo la ruptura de PRO en un 34%. La PRO de suero causó un incremento dramático en la [AA] causando un incremento de 68% en la síntesis de PRO. La velocidad de digestión de PRO y la absorción de AA tienen un efecto principal en la síntesis de PRO.
Dangin et al. [93]	22 hombres jóvenes y sanos (25±1 años)	30 g caseína 30 g AA libres para imitar la caseína 30 g PRO de suero Pequeñas dosis repetidas de PRO de suero.	Prueba de alimentación Sin ejercicio	Ninguno	Muestras sanguíneas A/V por todo el período de 7 h.	Las ingestas "rápidas" (PRO de suero y AA libres) causan un incremento rápido y marcado en la [AA]. Con la ingesta "lenta" se observó un incremento moderado en la [AA], los cuales permanecieron elevados más tiempo. El balance de Leu de 7 h fue mayor después de la ingesta lenta vs. la rápida.

Tabla 2. Tabla de resumen de los trabajos que estudiaron el metabolismo proteico y el timing de nutrientes después del ejercicio. RE: ejercicio de sobrecarga; A/V: arteriovenosa; V: varones; M: mujeres; MAA: mezcla de aminoácidos; EAA: aminoácidos esenciales; NEAA: aminoácidos no esenciales.

Suplementación Post-Ejercicio para Promover las Adaptaciones al Entrenamiento

En un intento de simular mayores adaptaciones asociadas con el entrenamiento de sobrecarga, los investigadores han estudiado el impacto de la administración de diferentes combinaciones de CHO y PRO después (1-3 h post-ejercicio) de cada sesión de ejercicio a través del transcurso del entrenamiento [8, 10, 32, 84-89]. Los hallazgos colectivos de estos estudios apoyan el fundamento de la administración post-ejercicio de CHO y PRO para facilitar mayores ganancias en la fuerza y la composición corporal.

Además, la fuente de PRO puede ser una consideración importante, ya que los estudios han sugerido que las PRO de suero pueden exhibir un patrón digestivo de cinética más rápida cuando se las compara a la caseína [92, 93]. Además, este patrón de cinética más rápida para las PRO de suero es responsable de los mayores incrementos en la síntesis de PRO después de la ingesta, con un pequeño a ningún impacto sobre la ruptura de PRO. Por otro lado, la caseína, libera sus aminoácidos a una tasa más lenta desde el intestino. Este patrón de cinética resulta en un pequeño control sobre la síntesis de PRO, pero en una atenuación importante sobre la ruptura de PRO. Cuando estas dos fuentes de PRO de la leche son comparadas usando análisis de área bajo la curva, los resultados sugieren que la caseína puede ser responsable de un mayor incremento total en el balance de PRO cuando se la compara con las PRO de suero [92, 93]. Un resumen de estos estudios es proporcionado debajo en la Tabla 3, pero los hallazgos generales de estos estudios sugieren que adicionar alguna combinación de CHO (50-75 g) a una fuente de PRO (20-75 g), mientras se realiza entrenamiento de sobrecarga, facilita el incremento en el desarrollo de la masa magra y las mejoras generales en el porcentaje de grasa corporal.

Autores [ref.]	Participantes	Suplementos/ Dosis	Tiempo de Administración	Tipo de Ejercicio	Muestras	Hallazgos del Estudio
Hartman et al. [86]	56 V	Leche descremada Soja libre de grasa Maltodextrina (CON).	1era dosis: Inmediatamente después 2da dosis: 1 h post-ejercicio.	Ejercicio de sobrecarga 5 días/semana ¹ durante 12 semanas	Fuerza Comp. corporal (DEXA), tamaño de las fibras.	Se incrementó la fuerza y mejoró la comp. corporal Área de las fibras tipo II> en el grupo Leche vs. Soja & CON Área de las fibras tipo I> en el grupo Leche vs. CON La masa magra (DEXA) > en el grupo Leche vs. Soja & CON.
Cribb & Hayes [8]	23 hombres entrenados recreacionalmente	40 g PRO/43 g CHO/6 g Cr cada 100 g Suplementos proporcionados en una dosis de 1 g.kg ⁻¹ de masa corporal, solo en los días en que se entrenaba.	Dos grupos Dosis 1 en la mañana y dosis 2 en la tarde Dosis 1 pre-ejercicio, dosis 2 post-ejercicio.	Programa de entrenamiento de sobrecarga para todo el cuerpo	Fuerza en 1RM Composición corporal (DEXA) Área de sección transversal muscular (CSA).	El grupo Pre-Post evidenció mayores incrementos en la masa magra y en 1RM junto con mayores cambios en la CSA de las fibras tipo II.
Kersick et al. [87]	36 hombres entrenados en fuerza	48 g de CHO 40 g de PRO de suero + 8 g de caseína 40 g de PRO de suero + 5 g glutamina + 3 g BCAA.	Post-ejercicio.	10 semanas; programa de entrenamiento de sobrecarga de rutina partida, 4 días/semana ¹ , usando cargas de 6-10 RM.	Fuerza en 1RM Composición corporal (DEXA) Potencia anaeróbica.	Incrementos en 1RM para todos los grupos La masa magra por DEXA, fue mayor en el grupo PRO + caseína.
Esmarck et al. [102]	13 V ancianos (74±1 años)	Suplemento líquido (10 g de PRO + 7 g de CHO + 3 g de grasa).	Inmediatamente después de la sesión de entrenamiento (P0) 2 h después de la sesión de entrenamiento (P2).	Programa de RT de 12 semanas (3 días por semana).	Composición corporal (DEXA) Hipertrofia por medio de MRI y biopsias musculares Fuerza isocinética.	P0>P2 para el área de sección transversal Cambios similares observados en la fuerza La suplementación con proteínas inmediatamente post-ejercicio promovió mayor crecimiento en los ancianos.
Willoughby et al. [10]	10 hombres desentrenados	20 g de PRO o 20 g de CHO 2 dosis por día.	1 h antes y 1 h después del ejercicio.	10 semanas de RT; 4 días por semana al 85-90% de 1 RM.	Fuerza en 1RM Comp. corporal Expresión de MHC e IGF-1.	Mayores incrementos en la masa corporal, masa libre de grasa, masa del muslo, fuerza, IGF-1 sérica, expresión de ARNm de IGF-1, MHC I y IIa y proteínas miofibrilares.
Cribb et al. [84]	33 fisicoculturistas recreacionales varones.	Cr + CHO Cr + PRO de suero PRO de suero CHO.	3 porciones iguales: Media mañana Post-ejercicio Tarde.	11 semanas de RT.	Fuerza en 1RM Comp. corporal (DEXA) CSA de las fibras musculares Contenido de proteínas.	Cr + CHO, PRO de suero y Cr + PRO de suero incrementaron la fuerza y la hipertrofia respecto a CHO.
Cribb et al. [85]	31 fisicoculturistas recreacionales varones.	PRO PRO + CHO PRO + CHO + Cr.	3 porciones iguales: Media mañana Post-ejercicio Tarde.	10 semanas de RT.	Fuerza en 1RM Comp. corporal (DEXA) CSA de las fibras musculares Contenido de proteínas.	PRO + CHO + Cr incrementó la fuerza en 1RM y la masa corporal magra, el CSA de las fibras y el contenido de proteínas vs. el grupo PRO + CHO.
Kersick et al. [88]	49 V & M entrenados.	PRO PRO + calostro PRO + Cr Calostro + Cr.	Ingestión post-ejercicio.	12 semanas de RT con rutina partida, 4 días por semana usando cargas de 6-10 RM.	Fuerza en 1RM Comp. corporal (DEXA) Potencia anaeróbica.	En comparación con PRO, PRO + Cal., Cal. + Cr incrementaron la masa corporal y la masa escaneada por DEXA PRO + Cr y Cal. + Cr tuvieron mayores incrementos en la masa magra vs. PRO + Cal.
Tarnopolsky et al. [90]	19 varones sanos.	CHO + Cr PRO + CHO + Cr.	Ingestión post-ejercicio.	8 semanas de RT; 1 hora por día por seis días a la semana.	Fuerza en 1RM Comp. corporal (DEXA) Área de las fibras.	Cambios similares en la fuerza y composición corporal entre los grupos; mayor incremento en la masa corporal para el grupo PRO + CHO + Cr.

Tabla 3. Tabla de resumen de los trabajos que estudiaron la administración de nutrientes post-ejercicio y entrenamiento de sobrecarga. CSA: área de sección transversal; BCAA: aminoácidos de cadena ramificada; MRI: imágenes por resonancia magnética nuclear; RT: entrenamiento con sobrecarga; MHC: cadena pesada de miosina.

Adición de Creatina a los Carbohidratos y Proteínas

Además de proporcionar una combinación de CHO + PRO después del entrenamiento de sobrecarga regular, los investigadores también han estudiado el impacto de la adición de monohidrato de creatina (Cr) en un intento de facilitar mayores adaptaciones al entrenamiento [84, 85, 88, 90]. La Cr es un suplemento dietario popular que ha sido muy investigado por su capacidad de incrementar el rendimiento y facilitar adaptaciones positivas al entrenamiento [94, 95]. Por ejemplo, Tarnopolsky et al. [90] han estudiado a participantes de sexo masculino desentrenados que realizaron entrenamiento de sobrecarga durante 8 semanas mientras ingerían, de un modo doble ciego, una combinación de, ya sea Cr (10 g) + CHO (75 g) o PRO (10 g) + CHO (75 g) 30 min después del ejercicio. Luego de la valoración de los cambios en la fuerza y masa muscular, el grupo Cr + CHO ganó significativamente más masa corporal (5,4% de incremento desde la condición inicial) cuando se lo comparó con el grupo PRO + CHO (2,4% de incremento). En ambos grupos mejoraron la masa magra, área de las fibras musculares, 1 RM, y fuerza isocinética, y no hubo diferencias entre los grupos.

En otro estudio, los participantes realizaron entrenamiento de sobrecarga por 11 semanas, mientras consumían diariamente lo siguiente: 1) 0,1 g Cr.kg⁻¹.día⁻¹ + 1,5 g CHO.kg⁻¹.día⁻¹, 2) 0,1 g Cr.kg⁻¹.día⁻¹ + 1,5 g PRO de suero.kg⁻¹.día⁻¹, 3) solo 1,5 g PRO de suero.kg⁻¹.día⁻¹ o 4) solo 1,5 g CHO.kg⁻¹.día⁻¹. La suplementación en el primero de los tres grupos resultó en mayores incrementos en la fuerza de 1 RM y la hipertrofia muscular, en comparación a los CHO solos, pero no fueron encontradas diferencias entre los grupos que ingirieron Cr junto con ya sea CHO o PRO [85].

De manera contraria, dos estudios publicados han sugerido que la adición de Cr puede ser responsable de mayores incrementos en la hipertrofia muscular.

En el primer estudio, los participantes completaron un programa de entrenamiento intenso por 10 semanas, mientras ingerían uno de los siguientes suplementos isoenergéticos: 1) 1,5 g de solo PRO.kg⁻¹.día⁻¹, 2) 0,75 g de PRO.kg⁻¹.día⁻¹ + 0,75 g de CHO.kg⁻¹.día⁻¹, o 3) 0,1 g de Cr.kg⁻¹.día⁻¹ + 0,75 g de PRO.kg⁻¹.día⁻¹ + 0,75 g de CHO.kg⁻¹.día⁻¹. Fue encontrado que los cambios en la fuerza y la hipertrofia muscular fueron mayores en el grupo Cr + CHO + PRO en comparación al grupo CHO + PRO [84]. De manera similar, Kerksick y colegas [88] hicieron que sus sujetos completaran 12 semanas de entrenamiento de sobrecarga, mientras ingerían una combinación de PRO de suero y caseína, con o sin Cr. Mientras que todos los grupos presentaron incrementos en la fuerza y la masa muscular, los grupos que ingirieron la combinación de Cr con PRO experimentaron los mayores cambios en la masa corporal y magra. Aunque estos resultados son de algún modo variados, los datos disponibles indican que adicionar Cr a un régimen de suplementación post-ejercicio con CHO y PRO puede ayudar a facilitar mayores incrementos en la composición corporal durante el entrenamiento de sobrecarga [84, 85, 88, 90].

Resumen de los Hallazgos Acerca de la Ingesta de Nutrientes Post-Ejercicio

Ha sido demostrado que el consumo post-ejercicio (dentro de 30 min) de CHO en altas dosis (8-9 g CHO.kg⁻¹.día⁻¹) estimula la resíntesis de glucógeno muscular [15, 65].

Ha sido demostrado que adicionar PRO (0,2-0,5 g.kg⁻¹.día⁻¹) a los CHO con una relación de aproximadamente 3:1 (CHO:PRO) estimula la resíntesis de glucógeno muscular en un mayor grado [69].

Ha sido demostrado que la ingestión post-ejercicio (inmediatamente hasta las 3 horas después) de aminoácidos, principalmente EAA, estimula incrementos marcados en la síntesis de PRO musculares [73, 74, 83]. La adición de CHO puede incrementar la síntesis de PRO todavía más, mientras que el consumo pre-ejercicio puede resultar en la mejor respuesta de todas [9].

Ha sido demostrado que durante el entrenamiento de sobrecarga prolongado, el consumo post-ejercicio de suplementos con CHO + PRO en diferentes cantidades, estimula incrementos en la fuerza y la composición corporal, en comparación a las condiciones de control, placebo o solo CHO [10, 87, 90].

La adición de Cr (0,1 g.kg⁻¹.día⁻¹) a un suplemento con CHO + PRO puede facilitar todavía mayores adaptaciones al entrenamiento de sobrecarga [84, 88].

CONCLUSION

La literatura científica asociada con el *timing* de nutrientes es extremadamente popular, y así constituye un área de investigación en continuo cambio. Luego de revisar la literatura disponible, las siguientes conclusiones pueden ser establecidas en este punto:

El ejercicio prolongado (>60-90 min) de moderada a alta intensidad va a agotar las reservas internas de energía, y el *timing* prudente de aporte de nutrientes puede ayudar a contrarrestar estos cambios.

Durante el ejercicio intenso, el consumo regular (283-424 g de fluido) de una solución con CHO/electrolitos, que aporte 6-8% de CHO (6-8 g CHO.100 mL⁻¹ de fluido) debería ser consumida cada 15-20 min para sostener los niveles de glucosa sanguínea.

La glucosa, fructosa, sucrosa y otras fuentes de CHO de alto índice glucémico son fácilmente digeridas, pero el consumo de fructosa debería ser minimizado, ya que la misma es absorbida a una tasa más lenta, e incrementa la posibilidad de que ocurran problemas gastrointestinales.

La adición de PRO (0,15-0,25 g.kg⁻¹.día⁻¹) a los CHO en todos los momentos, especialmente post-ejercicio, es bien tolerada y puede promover mayor restitución del glucógeno muscular.

Ha sido demostrado que la ingestión de 6-20 g de EAA y 30-40 g de CHO alto índice glucémico dentro de las tres horas después de una sesión de ejercicio e inmediatamente antes del ejercicio, estimula en forma significativa la síntesis de PRO musculares.

La ingestión diaria post-ejercicio de un suplemento con CHO + PRO promueve mayores incrementos en la fuerza y mejoras en el tejido magro y el porcentaje de grasa corporal durante el entrenamiento de sobrecarga regular.

Las fuentes de PRO de la leche (e.g., suero y caseína) exhiben diferentes patrones de cinética digestiva y su aporte subsiguiente puede diferir en su apoyo a las adaptaciones al entrenamiento.

La adición de Cr a un suplemento con CHO + PRO junto con entrenamiento de sobrecarga regular facilita mayores mejoras en la fuerza y composición corporal en comparación a cuando no es consumida Cr.

El objetivo de la dieta debería centrarse sobre una adecuada disponibilidad y aporte de CHO y PRO. Sin embargo, incluir pequeñas cantidades de grasa no parece ser perjudicial, y puede ayudar a controlar la respuesta glucémica durante el ejercicio.

Sin tener en cuenta al *timing*, la ingesta regular de *snacks* o comidas que aporten tanto CHO como PRO (relación entre CHO:PRO de 3:1) ayuda a promover la recuperación y restitución del glucógeno muscular.

Intereses de Competencia

Los autores declaran que no tienen intereses de competencia.

Contribución de los Autores

CK - fue responsable principalmente de redactar el manuscrito e incorporar las revisiones sugeridas por los coautores. TH, JS, BC, CW, RK, DK, TZ, HL, JL, JI, JA - todos coautores, fueron igualmente responsables de escribir, revisar, y proporcionar retroalimentación para el envío. Todos los autores revisaron el trabajo para que tuviera mérito científico y proporcionaron recomendaciones generales en relación a la dirección del manuscrito. Todos los autores leyeron y aprobaron el manuscrito final.

Dirección para el Envío de Correspondencia

Chad Kerksick - Chad_Kerksick@ou.edu

Correos de los demás autores: Travis Harvey - Travis.Harvey@usma.edu; Jeff Stout - jrstout@ou.edu; Bill Campbell - Campbell@coedu.usf.edu; Colin Wilborn - cwilborn@umhb.edu; Richard Kreider - rkreider@hlkn.tamu.edu; Doug Kalman - dkalman@miamiresearch.com; Tim Ziegenfuss - Tziegenfuss@wadsnet.com; Hector Lopez - hlopezmd@gmail.com; Jamie Landis - jlandis@lakelandcc.edu; John L Ivy - johnivy@mail.utexas.edu; Jose Antonio - ja839@nova.edu

REFERENCIAS

1. Dietary Reference Intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein, and Amino Acids (1940). [<http://www.iom.edu/CMS/3788/4576/4340.aspx>]
2. Bussau V. A., Fairchild T. J., Rao A., Steele P., Fournier P (2002). A. Carbohydrateloading in human muscle: an improved 1 day protocol. *Eur J Appl Physiol*, 87:290-295
3. Goforth H. W., Laurent D., Prusaczyk W. K., Schneider K. E., Petersen K. F., Shulman G. I (2003). Effects of depletion exercise and light training on muscle glycogen supercompensation in men. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 285(6):E1304-E1311
4. Kavouras S. A., Troup J. P., Berning J. R (2004). The influence of low versus high carbohydrate diet on a 45-min strenuous cycling exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14:62-72
5. Sherman W. M., Costill D. L., Fink W. J., Miller J. M (1981). Effect of exercisediet manipulation on muscle glycogen and its subsequent utilization during performance. *Int J Sports Med*, 2:114-118
6. Yaspelkis B. B., Patterson J. G., Anderla P. A., Ding Z., Ivy J. L (1993). Carbohydrate supplementation spares muscle glycogen during variable- intensity exercise. *J Appl Physiol*, 75:1477-1485
7. Coyle E. F., Coggan A. R., Hemmert M. K., Ivy J. L (1986). Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol*, 61:165-172
8. Cribb P. J., Hayes A (2006). Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc* 38:1918-1925
9. Tipton K. D., Rasmussen B. B., Miller S. L., Wolf S. E., Owens-Stovall S. K Petrini B. E., Wolfe R. R (2001). Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 281:E197-E206
10. Willoughby D. S., Stout J. R., Wilborn C. D (2007). Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolic, mass, and strength. *Amino Acids*, 32:467-477
11. Coburn J. W., Housh D. J., Housh T. J., Malek M. H., Beck T. W., Cramer J. T., Johnson G. O., Donlin P. E (2006). Effects of leucine and whey protein supplementation during eight weeks of unilateral resistance training. *J Strength Cond Res*, 20:284-291
12. Kraemer W. J., Hatfield D. L., Spiering B. A., Vingren J. L., Fragala M. S., Ho J. Y., Volek J. S., Anderson J. M., Maresh C. M (2007). Effects of a multi-nutrient supplement on exercise performance and hormonal responses to resistance exercise. *Eur J Appl Physiol* , 101:637-646
13. White J. P., Wilson J. M., Austin K. G., Greer B. K., St John N., Panton L. B (2008). Effect of carbohydrate-protein supplement timing on acute exercise-induced muscle damage. *J Int Soc Sports Nutr*, 5:5
14. Coyle E. F., Coggan A. R., Hemmert M. K., Lowe R. C., Walters T. J (1985). Substrate usage during prolonged exercise following a preexercise meal. *J Appl Physiol*, 59:429-433
15. Tarnopolsky M. A., Gibala M., Jeukendrup A. E., Phillips S. M (2005). Nutritional needs of elite endurance athletes. Part I: Carbohydrate and fluid requirements. *Eur J Sport Sci*, 5:3-14
16. Joint Position Statement: nutrition and athletic performance. American (2000). College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. *Med Sci Sports Exerc*, 32:2130-2145
17. Gleeson M., Nieman D. C., Pedersen B. K (2004). Exercise, nutrition and immune function. *J Sports Sci* , 22:115-125
18. Sherman W. M., Costill D. L., Fink W. J., Hagerman F. C., Armstrong L. E., Murray T. F (1983). Effect of a 42.2-km footrace and subsequent rest or exercise on muscle glycogen and enzymes. *J Appl Physiol*, 55:1219-1224
19. Earnest C. P., Lancaster S., Rasmussen C., Kerkick C., Lucia A., Greenwood M., Almada A., Cowan P., Kreider R (2004). Low vs. high glycemic index carbohydrate gel ingestion during simulated 64-km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res*, 18:466-472
20. Febbraio M. A., Keenan J., Angus D. J., Campbell S. E., Garnham A. P (2000). Preexercise carbohydrate ingestion, glucose kinetics, and muscle glycogen use: effect of the glycemic index. *J Appl Physiol*, 89:1845-1851
21. Febbraio M. A., Stewart K. L. CHO (1996). feeding before prolonged exercise: effect of glycemic index on muscle glycogenolysis and exercise performance. *J Appl Physiol* , 81:1115-1120
22. Hawley J. A., Burke L. M (1997). Effect of meal frequency and timing on physical performance. *Brit J Nutr*, 77:S91-S103
23. Foster C., Costill D. L., Fink W. J (1979). Effects of preexercise feedings on endurance performance. *Med Sci Sports*, 11(1):1-5
24. Okano G., Takeda H., Morita I., Katoh M., Mu Z., Miyake S (1988). Effect of pre-exercise fructose ingestion on endurance performance in fed men. *Med Sci Sports Exerc* , 20:105-109
25. Sherman W. M., Peden M. C., Wright D. A (1991). Carbohydrate feedings 1 h before exercise improves cycling performance. *Am J Clin Nutr*, 54:866-870
26. Thomas D. E., Brotherhood J. R., Brand J. C (1991). Carbohydrate feeding before exercise: effect of glycemic index. *Int J Sports Med*, 12:180-186
27. Chryssanthopoulos C., Hennessy L. C., Williams C (1994). The influence of pre-exercise glucose ingestion of endurance running capacity. *Br J Sports Med*, 28(2):105-109
28. Devlin J. T., Calles-Escandon J., Horton E. S (1986). Effects of preexercise snack feeding on endurance cycle exercise. *J Appl Physiol* , 60:980-985
29. Hargreaves M., Costill D. L., Fink W. J., King D. S., Fielding R. A (1987). Effect of pre-exercise carbohydrate feedings on endurance cycling performance. *Med Sci Sports Exerc*, 19:33-36
30. McMurray R. G., Wilson J. R., Kitchell B. S (1983). The effects of fructose and glucose on high intensity endurance performance. *Res Quart for Exerc and Sport*, 54:156-162
31. Tipton K. D., Elliott T. A., Cree M. G., Wolf S. E., Sanford A. P., Wolfe R. R (2004). Ingestion of casein and whey proteins results in muscle anabolism after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 36:2073-2081

32. Candow D. G., Burke N. C., Smith-Palmer T., Burke D. G (2006). Effect of whey and soy protein supplementation combined with resistance training in young adults. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 2006, 16:233-244
33. Febbraio M. A., Chiu A., Angus D. J., Arkinstall M. J., Hawley J. A (2000). Effects of carbohydrate ingestion before and during exercise on glucose kinetics and performance. *J Appl Physiol*, 89:2220-2226
34. Nicholas C. W., Williams C., Lakomy H. K., Phillips G., Nowitz A (1995). Influence of ingesting a carbohydrate-electrolyte solution on endurance capacity during intermittent, high-intensity shuttle running. *J Sports Sci*, 13:283-290
35. Widrick J. J., Costill D. L., Fink W. J., Hickey M. S., McConell G. K., Tanaka H (1993). Carbohydrate feedings and exercise performance: effect of initial muscle glycogen concentration. *J Appl Physiol*, 74: 2998-3005
36. Koopman R., Pannemans D. L., Jeukendrup A. E., Gijzen A. P., Senden J. M., Halliday D., Saris W. H., van Loon L. J., Wagenmakers A. J (2004). Combined ingestion of protein and carbohydrate improves protein balance during ultra-endurance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 287:E712-720
37. Baty J. J., Hwang H., Ding Z., Bernard J. R., Wang B., Kwon B., Ivy J. L (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
38. Bird S. P., Tarpenning K. M., Marino F. E (2006). Liquid carbohydrate/essential amino acid ingestion during a short-term bout of resistance exercise suppresses myofibrillar protein degradation. *Metabolism*, 55:570-577
39. Bird S. P., Tarpenning K. M., Marino F. E (2006). Effects of liquid carbohydrate/essential amino acid ingestion on acute hormonal response during a single bout of resistance exercise in untrained men. *Nutrition*, 22:367-375
40. Haff G. G., Koch A. J., Potteiger J. A., Kuphal K. E., Magee L. M., Green S. B., Jakicic J. J (2000). Carbohydrate supplementation attenuates muscle glycogen loss during acute bouts of resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 10:326-339
41. Bird S. P., Tarpenning K. M., Marino F. E (2006). Independent and combined effects of liquid carbohydrate/essential amino acid ingestion on hormonal and muscular adaptations following resistance training in untrained men. *Eur J Appl Physiol*, 97:225-238
42. McConell G., Snow R. J., Proietto J., Hargreaves M (1999). Muscle metabolism during prolonged exercise in humans: influence of carbohydrate availability. *J Appl Physiol*, 87:1083-1086
43. Fielding R. A., Costill D. L., Fink W. J., King D. S., Hargreaves M., Kovaleski J. E (1985). Effect of carbohydrate feeding frequencies and dosage on muscle glycogen use during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 17: 472-476
44. Burke L. M., Claassen A., Hawley J. A., Noakes T. D (1998). Carbohydrate intake during prolonged cycling minimizes effect of glycemic index of preexercise meal. *J Appl Physiol*, 85:2220-2226
45. Patterson S. D., Gray S. C (2007). Carbohydrate-gel supplementation and endurance performance during intermittent high-intensity shuttle running. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 17:445-455
46. Dennis S. C., Noakes T. D., Hawley J. A (1997). Nutritional strategies to minimize fatigue during prolonged exercise: fluid, electrolyte and energy replacement. *J Sports Sciences*, 15:305-313
47. Jeukendrup A. E (2004). Carbohydrate intake during exercise and performance. *Nutrition*, 20:669-677
48. Jeukendrup A. E., Jentjens R (2000). Efficacy of carbohydrate feedings during prolonged exercise: current thoughts, guidelines and directions for future research. *Sports Med*, 29:407-424
49. Jeukendrup A. E., Jentjens R., Moseley L (2005). Nutritional considerations in Triathlon. *Sports Med*, 35:163-181
50. Jentjens R., Shaw C., Birtles T., Waring R. H., Harding L. K., Jeukendrup A. E (2005). Oxidation of combined ingestion of glucose and sucrose during exercise. *Metabolism*, 54(5):610-618
51. Wallis G. A., Rowlands D. S., Shaw C., Jentjens R., Jeukendrup A. E (2005). Oxidation of combined ingestion of maltodextrins and fructose during exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 37:426-432
52. Jentjens R., Achten J., Jeukendrup A. E (2004). High rates of exogenous carbohydrate oxidation from multiple transportable carbohydrates ingested during prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 36:1551-1558
53. Jentjens R., Jeukendrup A. E (2005). High exogenous carbohydrate oxidation rates from a mixture of glucose and fructose ingested during prolonged cycling exercise. *Brit J Nutr*, 93:485-492
54. Jentjens R., Moseley L., Waring R. H., Harding L. K., Jeukendrup A. E (2004). Oxidation of combined ingestion of glucose and fructose during exercise. *J Appl Physiol*, 96:1277-1284
55. Jentjens R., Venables M. C., Jeukendrup A. E (2004). Oxidation of exogenous glucose, sucrose, and maltose during prolonged cycling exercise. *J Appl Physiol*, 96:1285-1291
56. Currell K., Jeukendrup A. E (2008). Superior endurance performance with ingestion of multiple transportable carbohydrates. *Med Sci Sports Exerc*, 40:275-281
57. Ivy J. L., Res P. T., Sprague R. C., Widzer M. O (2003). Effect of a carbohydrate protein supplement on endurance performance during exercise of varying intensity. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 13:382-395
58. Saunders M. J., Kane M. D., Todd M. K (2004). Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Med Sci Sports Exerc*, 36:1233-1238
59. Saunders M. J., Luden N. D., Herrick J. E (2007). Consumption of an oral carbohydrate-protein gel improves cycling endurance and prevents postexercise muscle damage. *J Strength Cond Res*, 21:678-684
60. Beelen M., Koopman R., Gijzen A. P., Vandereyck H., Kies A. K., Kuipers H., Saris W. H., van Loon L. J (2008). Protein coingestion stimulates muscle protein synthesis during resistance-type exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 295:E70-77
61. Ivy J. L (1998). Glycogen resynthesis after exercise: Effect of carbohydrate intake. *Int J Sports Med*, 19:S142-S145
62. Keizer H., Kuipers H., van Kranenburg G (1987). Influence of liquid and solid meals on muscle glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *Int J Sports Med*, 8:99-104
63. Reed M. J., Brozinick J. T., Lee M. C., Ivy J. L (1989). Muscle glycogen storage postexercise: effect of mode of carbohydrate administration. *J Appl Physiol*, 66:720-726
64. Conlee R. K., Lawler R. M., Ross P. E (1987). Effects of glucose or fructose feeding on glycogen repletion in muscle and liver after exercise or fasting. *Ann Nutr Metab*, 31:126-132
65. Jentjens R., Jeukendrup A. E (2003). Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med*,

66. Jentjens R. L. P. G., van Loon L., Mann C. H., Wagenmakers A. J. M., Jeukendrup A. E (2001). Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis. *J Appl Physiol*, 91:839-846
67. Van Loon L., Saris W. H., Kruijshoop M (2000). Maximizing postexercise muscle glycogen synthesis: carbohydrate supplementation and the application of amino acid or protein hydrolysate mixtures. *Am J Clin Nutr*, 72:106-111
68. Nichoas C. W., Green P. A., Hawkins R. D (1997). Carbohydrate intake and recovery of intermittent running capacity. *Int J Sport Nutr*, 7:251-260
69. Ivy J. L., Goforth H. W. Jr., Damon B. M., McCauley T. R., Parsons E. C., Price T. B (2002). Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol*, 93:1337-1344
70. Zawadzki K. M., Yaspelkis B. B., Ivy J. L (1992). Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol*, 72:1854-1859
71. Berardi J. M., Price T. B., Noreen E. E., Lemon P. W (2006). Postexercise muscle glycogen recovery enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *Med Sci Sports Exerc*, 38:1106-1113
72. Tarnopolsky M. A., Bosman M., Macdonald J. R., Vandeputte D., Martin J., Roy B. D (1997). Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol*, 83:1877-1883
73. Tipton K. D., Ferrando A. A., Phillips S. M., Doyle D. J., Wolfe R. R (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol*, 276:E628-634
74. Borsheim E., Tipton K. D., Wolf S. E., Wolfe R. R (2002). Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 283:E648-657
75. Pitkanen H. T., Nykanen T., Knuutinen J., Lahti K., Keinanen O., Alen M., Komi P. V., Mero A. A (2003). Free amino acid pool and muscle protein balance after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 35:784-792
76. Phillips S. M., Tipton K. D., Ferrando A. A., Wolfe R. R (1999). Resistance training reduces the acute exercise-induced increase in muscle protein turnover. *Am J Physiol*, 276:E118-E124
77. Biolo G., Tipton K. D., Klein S., Wolfe R. R (1997). An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol*, 273:E122-129
78. Borsheim E., Cree M. G., Tipton K. D., Elliott T. A., Aarsland A., Wolfe R. R (2004). Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol*, 96:674-678
79. Tipton K. D., Gurkin B. E., Matin S., Wolfe R. R (1999). Nonessential amino acids are not necessary to stimulate net muscle protein synthesis in healthy volunteers. *J Nutr Biochem*, 10:89-95
80. Miller S. L., Tipton K. D., Chinkes D. L., Wolf S. E., Wolfe R. R (2003). Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 35:449-455
81. Tipton K. D., Wolfe R. R (2001). Exercise, protein metabolism, and muscle growth. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 11:109-132
82. Levenhagen D. K., Gresham J. D., Carlson M. G., Maron D. J., Borel M. J., Flakoll P. J (2001). Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 280:E982-993
83. Rasmussen B. B., Tipton K. D., Miller S. L., Wolf S. E., Wolfe R. R (2000). An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol*, 88:386-392
84. Cribb P. J., Williams A. D., Hayes A. (2007). A creatine-protein-carbohydrate supplement enhances responses to resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 39:1960-1968
85. Cribb P. J., Williams A. D., Stathis C. G., Carey M. F., Hayes A (2007). Effects of whey isolate, creatine, and resistance training on muscle hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc*, 39:298-307
86. Hartman J. W., Tang J. E., Wilkinson S. B., Tarnopolsky M. A., Lawrence R. L., Fullerton A. V., Phillips S. M (2007). Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *Am J Clin Nutr*, 86:373-381
87. Kerksick C. M., Rasmussen C. J., Lancaster S. L., Magu B., Smith P., Melton C., Greenwood M., Almada A. L., Earnest C. P., Kreider R. B (2006). The effects of protein and amino acid supplementation on performance and training adaptations during ten weeks of resistance training. *J Strength Cond Res*, 20:643-653
88. Kerksick C. M., Rasmussen C., Lancaster S., Starks M., Smith P., Melton C., Greenwood M., Almada A., Kreider R (2007). Impact of differing protein sources and a creatine containing nutritional formula after 12 weeks of resistance training. *Nutrition*, 23:647-656
89. Kreider R. B., Earnest C. P., Lundberg J., Rasmussen C., Greenwood M., Cowan P., Almada A. L (2007). Effects of ingesting protein with various forms of carbohydrate following resistance-exercise on substrate availability and markers of anabolism, catabolism, and immunity. *J Int Soc Sports Nutr*, 4:18
90. Tarnopolsky M. A., Parise G., Yardley N. J., Ballantyne C. S., Olatinji S., Phillips S. M (2001). Creatine-dextrose and protein-dextrose induce similar strength gains during training. *Med Sci Sports Exerc*, 33:2044-2052
91. Wilkinson S. B., Tarnopolsky M. A., Macdonald M. J., Macdonald J. R., Armstrong D., Phillips S. M (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
92. Boirie Y., Dangin M., Gachon P., Vasson M. P., Maubois J. L., Beaufriere B (1997). Slow and fast dietary proteins differently modulate postprandial protein accretion. *Proc Natl Acad Sci USA*, 94:14930-14935
93. Dangin M., Boirie Y., Garcia-Rodenas C., Gachon P., Fauquant J., Callier P., Balleve O., Beaufriere B (2001). The digestion rate of protein is an independent regulating factor of postprandial protein retention. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 280:E340-348
94. Buford T. W., Kreider R. B., Stout J. R., Greenwood M., Campbell B., Spano M., Ziegenfuss T., Lopez H., Landis J., Antonio J (2007). International Society of Sports Nutrition position stand: creatine supplementation and exercise. *J Int Soc Sports Nutr*, 4:6
95. Kreider R. B (2003). Effects of creatine supplementation on performance and training adaptations. *Mol Cell Biochem*, 244:89-94
96. Fielding R. A., Costill D. L., Fink W. J., King D. S., Kowaleski J. E., Kirwan J. P (1987). Effects of pre-exercise carbohydrate feedings

- on muscle glycogen use during exercise in well-trained runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 56:225-229
97. Gleeson M., Maughan R. J., Greenhaff P. L (1986). Comparison of the effects of pre-exercise feeding of glucose, glycerol and placebo on endurance and fuel homeostasis in man. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 55:645-653
98. Goodpaster B. H., Costill D. L., Fink W. J., Trape T. A., Joszi A. C., Starling R. D., Trappe S. W (1996). The effects of pre-exercise starch ingestion on endurance performance. *Int J Sports Med*, 17:366-372
99. Smith G. J., Rhodes E. C., Langill R. H (2002). The effect of pre-exercise glucose ingestion on performance during prolonged swimming. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 12:136-144
100. Borsheim E., Aarsland A., Wolfe R. R (2004). Effect of an amino acid, protein, and carbohydrate mixture on net muscle protein balance after resistance exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 14:255-271
101. Tipton K. D., Borsheim E., Wolf S. E., Sanford A. P., Wolfe R. R (2003). Acute response of net muscle protein balance reflects 24-h balance after exercise and amino acid ingestion. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 284:E76-89
102. Esmarck B., Anderson J. L., Olsen S., Richter E. A., Mizuno M., Kjaer M (2001). Timing postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 535:301-311

Cita Original

Kerksick Chad, Travis Harvey, Jeff Stout, Bill Campbell, Colin Wilborn, Richard B Kreider, Doug Kalman, Tim Ziegenfuss, Hector Lopez, Jamie Landis, John L. Ivy y Jose Antonio. International Society of Sports Nutrition position stand: Nutrient Timing. *J. Int. Soc. Sports Nutr.*, 5: 17, 2008.