

¿EXISTE UNA VENTANA ANABÓLICA POST-EJERCICIO? (ALAN ARAGON)

La sincronización de nutrientes es una estrategia nutricional popular que implica el consumo de combinaciones de nutrientes - principalmente de proteínas e hidratos de carbono - en y alrededor de una sesión de ejercicio. Algunos reivindican que este enfoque puede producir mejoras espectaculares en la composición corporal. Algunos incluso se han postulado que el momento del consumo nutricional puede ser más importante que la ingesta absoluta diario de nutrientes. El período post-ejercicio es ampliamente considerado como la parte más fundamental para conseguir el máximo desarrollo.

Teóricamente, consumiendo la proporción adecuada de nutrientes no solo se inicia la reconstrucción del tejido muscular dañado y la restauración de la reservas de energía, pero lo hace de una manera supercompensada que mejora tanto la composición corporal y el rendimiento en el ejercicio. Varios investigadores han hecho referencia a una anabólica "ventana de oportunidad" en la que existe un tiempo limitado después del entrenamiento para optimizar el entrenamiento relacionado con las adaptaciones musculares. Sin embargo, la importancia - y hasta la existencia de una "ventana" post-ejercicio puede variar según una serie de factores. No sólo es la investigación de la temporización de nutrientes sino abrir la pregunta en términos de aplicabilidad, pero la evidencia reciente ha impugnado directamente la clásica vista de la relevancia de la ingesta nutricional después del ejercicio con respecto al anabolismo.

Por lo tanto, el propósito de este trabajo es doble: 1) revisar la literatura existente sobre los efectos de conseguir el máximo desarrollo con respecto al post-ejercicio y las adaptaciones musculares, y, 2) para dibujar conclusiones pertinentes que permitan prácticas, basadas en la evidencia para las recomendaciones nutricionales para maximizar la respuesta anabólica a ejercer.

INTRODUCCIÓN

En las últimas dos décadas, el máximo desarrollo ha sido objeto de numerosos estudios de investigación y revisiones. La base de la temporización de nutrientes implica el consumo de combinaciones de nutrientes, principalmente de proteínas y carbohidratos en los alrededores de una sesión de ejercicio. La estrategia está diseñada para maximizar las adaptaciones musculares inducidas por del ejercicio y facilitar la reparación del tejido dañado [1]. Algunos han afirmado que este tipo de estrategias de tiempo pueden producir dramáticas mejoras en la composición corporal, en particular con respecto al aumento de la masa libre de grasa [2]. Incluso se ha postulado que el momento del consumo nutricional puede ser más importante que la ingesta absoluta diaria de nutrientes [3].

El período post-ejercicio es a menudo considerado la parte más crítica en la sincronización de nutrientes. Un intenso entrenamiento de ejercicios da el agotamiento de una proporción significativa de combustibles almacenados (incluyendo glucógeno y aminoácidos), así como daños que causan a las fibras de los músculos. Teóricamente, consumiendo la proporción adecuada de nutrientes durante este tiempo no sólo inicia la reconstrucción del tejido dañado y la restauración de las reservas de energía, pero lo hace de manera supercompensada que mejora tanto la composición corporal como el rendimiento deportivo.

Varios investigadores han hecho referencia a una "ventana anabólica de oportunidad" por el cual existe un tiempo limitado después del entrenamiento para optimizar relacionada con las adaptaciones musculares [3-5].

Sin embargo, la importancia - y hasta la existencia - de la "ventana" de un post-ejercicio puede variar de acuerdo a una serie de factores.

REPOSICIÓN DEL GLUCÓGENO

El objetivo principal de las recomendaciones nutricionales tradicionales post-entrenamiento es reponer las reservas de glucógeno. El glucógeno se considera esencial para un rendimiento óptimo en el entrenamiento de resistencia, tanto como un 80% de la producción de ATP durante el entreno derivada de la glucólisis [6].

MacDougall et al. [7] demostraron que un solo serie de flexión del codo a 80% de 1 repetición máxima (RM) causa una reducción del 12% en la concentración de glucógeno del músculo, mientras que tres series a esta intensidad resultaron en una disminución del 24%.

De manera similar, Robgers et al. [8] informó de que tres series de 12 RM realizada al fallo muscular resultó en una reducción de 26,1% de las reservas de glucógeno en el músculo vasto lateral, mientras que seis series en esta intensidad dando lugar a una disminución del 38%, principalmente debido al agotamiento de glucógeno en las fibras tipo II en comparación con las fibras tipo I.

Por lo tanto, lógico que entrenamientos de alto volumen típicos culturistas que implica múltiples ejercicios y series para el mismo grupo muscular que agotan la mayoría de las reservas de glucógeno locales.

Además, hay evidencia de que el glucógeno sirve para mediar en la señalización intracelular. Esto parece ser debido, al menos en parte, a sus efectos reguladores negativos sobre AMP-activador de la proteína quinasa (AMPK). Anabolismo y catabolismo muscular están regulados por una compleja cascada de vías de señalización.

Varias vías que han sido identificados como particularmente importantes para el anabolismo muscular por ejemplo la vía mTOR, activada por mitógenos de la proteína quinasa (AMPK), y varios de calcio-(Ca²⁺).

Las vías dependientes como el AMPK, es un sensor de energía celular que sirve para mejorar la disponibilidad de energía. Como tal, son medios que consumen energía, incluyendo la activación de mTOR mediada por la insulina y la tensión mecánica, así como aumentando los procesos catabólicos como la glucólisis, beta oxidación, y la degradación de proteínas [9].

La vía mTOR se considera un maestro en la regulación del crecimiento del músculo esquelético [10,11], y su inhibición tiene un efecto negativo decididamente sobre los procesos anabólicos [12]. El glucógeno se ha demostrado que inhiben la AMPK purificada en ensayos sin células [13] los niveles de glucógeno, bajos están asociados con un mayor actividad AMPK in vivo en seres humanos [14].

Creer et al. [15] demostraron que los cambios en la fosforilación de la proteína quinasa B (AKT) dependen del contenido pre-ejercicio de glucógeno muscular. Después de realizar 3 series de 10 repeticiones de extensiones de rodilla con una carga equivalente a un 70% de 1 repetición máxima, en la fase posterior al ejercicio la fosforilación de Akt se incrementó sólo en el glucógeno muscular recargado, pero sin efecto observado en el glucógeno agotado en el músculo contra lateral.

Un estudio reciente de la cámara et al. [18] determinó que el entrenamiento de resistencia de alta intensidad con bajos niveles de glucógeno muscular no afectó la señalización anabólica o la síntesis de proteínas musculares (MPS) (Nota del Traductor: En adelante MPS) durante los primeros horas (4 h) del período de recuperación post-ejercicio. La discrepancia entre los estudios no es claro en este momento.

Disponibilidad de glucógeno también se ha demostrado para que pueda mediar en la degradación de proteínas musculares. Limón y Mullin [19] encontraron que las pérdidas de nitrógeno eran más del doble después de una sesión de ejercicio en un glucógeno empobrecido en contra de un estado de glucógeno-recargado.

Otros investigadores han mostrado una similar relación inversa entre los niveles de glucógeno y la proteólisis [20]. Teniendo en cuenta la totalidad de las pruebas, el mantenimiento de un alto contenido de glucógeno intramuscular en el inicio del entreno parece beneficioso para los resultados deseados de entrenamiento de resistencia.

Los estudios muestran una supercompensación de glucógeno cuando se consumen carbohidratos inmediatamente después del ejercicio y el retraso del consumo por tan solo 2 horas atenúa la tasa de resíntesis de glucógeno muscular tanto como un 50% [21].

El ejercicio mejora la insulina y estimula la captación de glucosa después de una sesión de ejercicios con una fuerte correlación observada entre la cantidad de la absorción y la magnitud de la utilización de glucógeno [22].

Esto es en parte debido a un aumento en la translocación de GLUT4 durante el agotamiento de glucógeno [23,24] lo que facilita la entrada de glucosa en la célula. Además, hay un aumento inducido por el ejercicio en la actividad de las sintetas de la enzima implicada en el aumento del almacenamiento de glucógeno [25].

La combinación de estos factores facilita la absorción rápida de glucosa después de un ejercicio, lo que permite el glucógeno se reponga a un ritmo acelerado. Hay evidencia de que la adición de proteína a la comida de carbohidratos después del ejercicio puede mejorar la re-síntesis de glucógeno.

Berardi et al. [26] demostraron que el consumo de un suplemento de proteínas /carbohidratos en el período de 2 horas después de una carrera de ciclismo de 60-minutos dio como resultado de la resíntesis del glucógeno significativamente mayor en comparación con la ingestión de una dieta de calorías equiparadas de carbohidratos solos.

De manera similar, Ivy et al. [27] encontró que el consumo de una combinación de proteínas y carbohidratos después de un entreno de más de 2 horas de ciclismo y carreras de velocidad aumento del contenido de glucógeno muscular significativamente más que un suplemento de solo hidratos de carbono de igual o equivalencia calórica.

Los efectos sinérgicos de proteína/carbohidratos se han atribuido a una respuesta de la insulina más pronunciada [28], aunque hay que señalar que no todos los estudios apoyan estos hallazgos [29]. Jentjens et al. [30] encontró que

La dosificación de carbohidratos (1,2 g / kg / h), la adición de una proteína y una mezcla de aminoácidos (0,4 g / kg / h) no aumentó la síntesis de glucógeno en unas 3- horas post-entreno en el período de recuperación.

A pesar de una sólida base teórica, la importancia práctica de la celeridad de reposición de las reservas de glucógeno sigue siendo dudosa. Sin lugar a dudas, acelerar la resíntesis de glucógeno es importante para un subconjunto limitado de deportes de resistencia donde se limita la duración entre eventos donde el relleno de glucógeno en menos de aproximadamente 8 horas [31].

Potencialmente beneficios similares podrían obtenerse por los que realizan dos entrenamientos de resistencia al día divididos (es decir, mañana y tarde), siempre los mismos músculos se trabajarán durante las respectivas sesiones. Sin embargo, para objetivos que no se centran específicamente en la realización de múltiples entrenos el mismo día, la urgencia de resíntesis de glucógeno disminuye en gran medida.

La alta intensidad de entrenamiento de resistencia con volumen moderado (6-9 series por grupo muscular) sólo se ha demostrado que reduce las reservas de glucógeno un 36-39% [8,32]. Ciertos atletas son propensos a la realización de un volumen significativamente mayor a este (es decir, los culturistas competitivos), pero aumentó el volumen que típicamente acompaña disminución de la frecuencia.

Por ejemplo, el entreno de un grupo muscular con 16-20 series en una sola sesión se lleva a cabo aproximadamente una vez por semana, mientras que las rutinas con 8-10 series se realizan dos veces por semana. En los escenarios de mayor volumen y mayor frecuencia, la resíntesis incompleta de los niveles de glucógeno pre-entreno no sería una preocupación dado que desde el inverosímil escenario en el que los entrenos exhaustivos de los mismos músculos se producen después de periodos de recuperación en intervalos de 24 horas. Sin embargo, incluso en el caso del completo agotamiento del glucógeno, la reposición de los niveles de pre-entreno bien dentro de este plazo, sin una ingesta de carbohidratos se retrasa significativamente después del ejercicio.

Por ejemplo, Parkin et al [33] comparó la ingesta inmediata posterior al ejercicio de hidratos de carbono con alto índice glucémico en 5 comidas con y una espera de 2 horas antes de comenzar las comidas de recuperación.

No se observaron diferencias significativas entre los grupos en los niveles de glucógeno en 8 horas y 24 horas después del ejercicio. Como más apoyo de este punto, Fox et al. [34] vio una reducción significativa en el contenido de glucógeno 24 horas después del agotamiento a pesar de la adición de 165 g de grasa a las comidas de recuperación después del ejercicio y eliminando así cualquier posible ventaja de las condiciones de alto índice glucémico.

DEGRADACIÓN PROTEICA

Otro supuesto beneficio de conseguir el máximo desarrollo post-entrenamiento es una atenuación del desglose de la proteína muscular. Esto se consigue principalmente por los niveles de insulina enriquecidas, en comparación con el aumento de la disponibilidad de aminoácidos [35,36]. Los estudios demuestran que la degradación de proteína muscular sólo se elevó ligeramente inmediatamente después del ejercicio [36]. En el estado de ayuno, la degradación de proteínas musculares se ve significativamente aumentada en 195 minutos después del ejercicio de resistencia, lo que resulta en un balance proteico negativo neto [37].

Estos valores se incrementan tanto en un 50% en la franja de 3 horas, y la proteólisis elevada puede persistir durante hasta 24 horas después del período del entrenamiento [36]. Aunque la insulina ha conocido las propiedades anabólicas [38,39], su principal impacto post-ejercicio se cree que es anti-catabólico [40-43]. Los mecanismos por los que la insulina reduce la proteólisis no se conocen bien en este momento.

Dado que la hipertrofia muscular representa la diferencia entre la síntesis de proteínas miofibrilares y la proteólisis, una disminución en la degradación de las proteínas concebibles de mejorar acreción de proteínas contráctiles y por lo tanto facilitar una mayor hipertrofia. En consecuencia, parece lógico concluir que el consumo de una proteína-carbohidrato después del ejercicio en forma de suplemento sería para promover la mayor reducción en proteólisis ya que la combinación de los dos

nutrientes se ha demostrado que elevan los niveles de insulina en un grado mayor que los carbohidratos solos [28]. Sin embargo, mientras que la base teórica detrás de la adición de insulina después del ejercicio es de por sí sólida, sigue siendo cuestionable si los beneficios se extienden a la práctica. Ante todo la investigación ha mostrado que, en presencia de los aminoácidos plasmáticos elevados, el efecto de la elevación de la insulina en las mesetas del balance neto de proteína muscular en un rango de 15-30 mU / L [45,46]; aproximadamente 3-4 veces más que los niveles normales en ayunas. Este efecto insulinogénico es fácilmente realizado con las típicas comidas mixtas, teniendo en cuenta que se tarda aproximadamente 1-2 horas para que los niveles circulantes de sustratos lleguen a su pico, y 3-6 horas (o más) para un retorno completo a los niveles basales en función del tamaño de una comida.

Por ejemplo, Capaldo et al. [47] examinó varios efectos metabólicos durante un período de 5 horas después de la ingestión de una comida sólida compuesta de 75 g de carbohidratos 37 g de proteínas y 17 g de grasa. Esta comida fue capaz de elevar la insulina 3 veces por encima de los niveles de ayuno dentro de los 30 minutos que se consumen. En la marca de 1-hora, la insulina fue 5 veces mayor que en el ayuno. En la marca de 5 horas, la insulina se sigue duplicando a los niveles en ayunas. En otro ejemplo, Power et al. [48] demostraron que una dosis de 45 g de proteína de suero tarda aproximadamente 50 minutos en causar que los niveles de aminoácidos lleguen a su pico. Las concentraciones de insulina alcanzó su punto máximo 40 minutos después de la ingestión, y se mantuvo elevado visto el balance de proteínas neto en el músculo (15-30 mU / L, o 104-208 pmol / L) durante aproximadamente 2 horas. La inclusión de hidratos de carbono para esta dosis de proteína haría que los niveles de insulina llegaran a un pico más alto y permanecer elevado aún más. Por lo tanto, la recomendación para los levantadores sobre el pico de insulina después del ejercicio es algo trivial. El clásico suplemento post-ejercicio cuyo objetivo es revertir rápidamente los procesos catabólicos para promover la recuperación y el crecimiento sólo puede ser aplicable en ausencia de un bien diseñada comida antes del ejercicio.

Además, hay evidencia de que el efecto de la degradación de las proteínas en la creación de proteínas musculares puede ser exagerada. Glynn et al. [49] encontró que la respuesta anabólico post-ejercicio asociado con un consumo combinado de proteínas e hidratos de carbono se debió principalmente a una elevación de la síntesis de proteínas del músculo con sólo una influencia menor de la reducción de la proteína.

Estos resultados se observaron independientemente de la medida de los niveles circulantes de insulina. Por lo tanto, sigue siendo cuestionable en cuanto a lo que, en su caso, los efectos positivos de la insulina con respecto al crecimiento muscular después de terminar el entrenamiento de resistencia.

SÍNTESIS PROTEICA

Tal vez el beneficio más promocionado del momento post-entrenamiento nutriente es que aumenta la potencia del MPS. El entrenamiento de resistencia solo se ha demostrado para promover un aumento de dos veces en la síntesis de proteínas siguiente ejercicio, que se compensa con el ritmo acelerado de la proteólisis [36]. Parece que los efectos estimulantes de hiperaminoacidemia sobre la síntesis de la proteína muscular, especialmente de aminoácidos esenciales, son potenciados por el ejercicio anterior [35,50].

Hay algunas pruebas de que los carbohidratos tienen un efecto aditivo sobre la mejora después del ejercicio de la síntesis de proteínas musculares cuando se combina con la ingestión de aminoácidos [51], pero otros no pudieron encontrar un beneficio [52,53].

Varios estudios han investigado si una "ventana anabólica" existe en la franja inmediata post-ejercicio con respecto a la síntesis de proteínas. Para maximizar la MPS, la evidencia admite la superioridad de posteriores al ejercicio aminoácidos libres y / o proteína (en diversas permutaciones con o sin hidratos de carbono) en comparación con un único hidrato de carbono o placebos no calóricos [50,51,54-59].

Sin embargo, a pesar de la recomendación común para consumir proteínas tan pronto como sea posible después del ejercicio [60,61], basada en la evidencia de apoyo para esta práctica es actualmente escasa.

Levenhagen et al. [62] ha demostrado un claro beneficio para los alimentos que se consumen tan pronto como sea posible después del ejercicio en lugar de retrasar el consumo. Se empleó un protocolo de 10 voluntarios (5 hombres y 5 mujeres) consumieron un suplemento oral que contiene 10 gr de proteínas, 8 g de carbohidratos y 3 g de grasa ya sea inmediatamente después o tres horas post-ejercicio. La síntesis de proteínas de las piernas y todo el cuerpo se triplicó cuando el suplemento se ingiere inmediatamente después del ejercicio, en comparación con sólo el 12% cuando su consumo se retrasó.

Una limitación del estudio fue que el entreno en el que participan fue de moderada intensidad, y el ejercicio aeróbico de duración larga. Por lo tanto, el aumento de la tasa sintética fraccional fue probablemente debido a una mayor actividad mitocondrial y / o fracciones de proteínas sarcoplásmicas, en oposición a la síntesis de elementos contráctiles [36]. En contraste con los efectos de tiempo mostrados por Levenhagen et al. [62], el trabajo previo de Rasmussen et al. [56] no mostraron ninguna diferencia significativa en la red de equilibrio de aminoácidos entre los 6 g aminoácidos esenciales (EAA) co-ingeridos con 35 g de carbohidratos si se toma 1 hora contra 3 horas después del ejercicio.

Para agravar la falta de fiabilidad de la "ventana" post-ejercicio es el hallazgo por Tipton et al. [63] que inmediatamente antes del ejercicio la ingestión de la misma solución EAA-carbohidrato resultó en una significativamente mayor y más respuesta MPS sostenida en comparación con el ejercicio inmediatamente posterior a la ingestión, aunque la validez de estos hallazgos se han disputado sobre la base de una metodología defectuosa [36].

Notablemente, Fujita et al [64] vieron resultados opuestos utilizando un diseño similar, a excepción de las comidas en carbohidratos que se ingirió 1 hora antes del ejercicio en comparación a la ingestión inmediatamente antes del ejercicio en Tipton et al. [63]. Añadiendo aún más la incongruencia de las pruebas, Tipton et al. [65] no encontraron diferencia significativa en MPS netas entre la ingestión de 20 g de suero de leche inmediatamente pre-entreno a la misma solución que consume 1 hora post-ejercicio.

Colectivamente, los datos disponibles carecen cualquier indicio consistente de un sistema de cronometraje ideal post-ejercicio para maximizar el MPS.

Por otra parte, el aumento posterior al ejercicio en MPS en los sujetos inexpertos no se resume en el estado que cuenta [68], aún más relevancia práctica de confusión.

Por lo tanto, la utilidad de los estudios se limita a proporcionar pistas y generar hipótesis con respecto a las adaptaciones hipertróficas, cualquier intento de extrapolar los resultados de los mismos a cambios en la masa corporal magra es especulativo, en el mejor de los casos.

HIPERTROFIA MUSCULAR

Un número de estudios han investigado directamente los efectos hipertróficos a largo plazo del consumo de proteínas después del ejercicio. Los resultados de estos ensayos son curiosamente contradictorias, aparentemente debido al diseño del estudio y la metodología variada. Además, una mayoría de los estudios emplearon tanto antes como después de la suplementación de rutina, por lo que es imposible de desentrañar el impacto de los nutrientes que consumen después del ejercicio. Estos problemas de confusión de relieve la dificultad de tratando de sacar las conclusiones pertinentes en cuanto a la validez de una "ventana anabólica".

TABLA 1 NUTRICIÓN POST-EJERCICIO E HIPERTROFIA MUSCULAR

Estudio	Sujetos	Suplementación	Proteína con control	Instrumento de medición	Protocolo de entreno	Resultados
Esmarck et al. [69]	13 hombres de edad avanzada sin entrenar	Combo de 10 g de proteína de leche / soja consumida de forma inmediata o 2 horas después del ejercicio	SI	MRI y biopsia muscular	Entrenamiento de resistencia progresiva que consta de varias series de pullover, prensa de piernas y Extensiones realizada 3 días / semana durante 12 semanas	Aumento significativo de la CSA muscular con la suplementación inmediata versus suplementación que se toma más tarde
Cribb and Hayes [70]	23 jóvenes culturistas masculinos recreativos	1 g / kg de un suplemento que contiene 40 g de suero de leche, 43 g de glucosa, y 7 g de monohidrato de creatina que se consumieron inmediatamente antes y después ejercicio o por la	SI	DXA y biopsia muscular	Entrenamiento de resistencia progresiva que consiste en ejercicios para la los principales grupos musculares realizado 3 días / semana durante 10 semanas	Incremento significativo de masa magra y CSA muscular de fibras tipo II con la suplementación inmediata versus suplementación tardía

		mañana temprano y al atardecer				
Willoughby et al. [71]	19 hombres jóvenes sin entrenar	20 g de proteína o 20 g de dextrosa consumido 1 hora antes y después del ejercicio	NO	Pesaje Hidrostática, biopsia muscular, mediciones de superficie	Entrenamiento de resistencia progresiva que consiste en 3 series de 6-8 repeticiones para todos los principales músculos realizada 4 días / semana para 10 semanas	Aumento significativo de masa, masa libre de grasa de la suplementación con proteínas vs suplementación de carbohidratos
Hulmi et al. [72]	31 hombres jóvenes de años sin entrenar	15 g de suero o placebo Consumido inmediatamente antes y después del ejercicio	NO	MRI, biopsia muscular	Progresión, periodizada o el Entreno que consiste en 2-5 series de 5-20 repeticiones realizadas 2 días / semana durante 21 semanas	Aumento significativo de la CSA del vasto lateral, del grupo suplementado frente al placebo
Verdijk et al. [73]	28 hombres de edad avanzada sin entrenar	10 g de hidrolizado de caseína o un placebo consumido inmediatamente antes y después del ejercicio	NO	DXA, CT, y biopsia muscular	Entrenamiento de resistencia progresiva que consta de varias series de prensa y extensiones realizada 3 días / semana durante 12 semanas	No se observaron diferencias significativas en la CSA muscular entre los grupos
Hoffman et al.	33 hombres jóvenes sin	Suplemento que	SI	DXA	Entrenamiento de	No se observaron

[74]	entrenar	contiene 42 g proteínas (leche / mezcla de colágeno) y 2 g de hidratos de carbono consumidos ya sea inmediatamente antes y después del ejercicio o a principios de los mañana y tarde en la noche			resistencia progresiva que consiste en 3-4 series de 6-10 repeticiones de ejercicios múltiples para todo el cuerpo entrenado 4 días / semana durante 10 semanas.	diferencias significativas en el total de masa corporal o la masa corporal magra entre los grupos
Erskine et al. [75]	33 hombres jóvenes sin entrenar	20 g de proteína de alta calidad o un placebo consumido inmediatamente antes y después del ejercicio	NO	MRI	4-6 series de flexión del codo realizado 3 días / semana durante 12 semanas	No se observaron diferencias significativas en la CSA muscular entre los grupos

Esmarck et al. [69] proporcionó la primera evidencia experimental de que la proteína que se consume inmediatamente después del entrenamiento muscular da un mayor crecimiento en comparación con la ingesta de proteínas retardada.

Trece voluntarios varones no entrenados de edad avanzadas fueron agrupados de dos en dos sobre la base de la composición corporal y la ingesta diaria de proteína y se dividieron en dos grupos: P0 o P2. Los sujetos realizaron una resistencia progresiva programa de formación de varias series para el cuerpo superior e inferior. P0 recibieron una dosis oral de proteínas / carbohidratos como suplemento inmediatamente después del ejercicio, mientras que P2 recibió el mismo suplemento 2 horas después de la sesión de ejercicio. El entreno se llevó a cabo 3 días a la semana durante 12 semanas. Al final del período de estudio, el área transversal (CSA) del cuádriceps y femoral área media de fibra aumentaron significativamente en el grupo de P0 mientras no aumento significativamente como se observó en P2. Estos resultados apoyan la presencia de una ventana post-ejercicio y sugieren que el retraso post-entrenamiento ingesta de nutrientes que puede impedir aumentos musculares.

En contraste con estos resultados, Verdijk et al. [73] no pudo detectar cualquier aumento esquelético de la masa muscular al consumir un suplemento de proteínas después del ejercicio en una población similar de hombres de edad avanzada. Veintiocho sujetos no entrenados fueron asignados al azar para recibir un suplemento proteico o placebo consumido inmediatamente antes e inmediatamente después de la sesión de ejercicio. Los sujetos realizaron múltiples series de press de piernas y extensión de la rodilla 3 días a la semana, donde la intensidad del ejercicio aumentó

progresivamente durante el curso de las 12 semanas. No se observaron diferencias significativas en la fuerza muscular o hipertrofia entre los grupos al final del periodo de estudio.

Cabe señalar que, a diferencia, del estudio de Esmark et al. [74] este estudio sólo investigó las respuestas adaptativas de la suplementación sobre la musculatura del muslo, por lo tanto, no está claro en base a estos resultados si la parte superior del cuerpo puede responder de manera diferente a la suplementación post-ejercicio de la parte inferior del cuerpo.

En un diseño elegante simple ciego, Cribb y Hayes [70] encontró unos beneficios significativos para el consumo de proteínas recreativos. Los sujetos fueron aleatoriamente divididos en un grupo PRE-POST que consumió un suplemento que contenía proteínas, carbohidratos y creatina inmediatamente antes y después del entrenamiento y otro grupo MOR-EVE que consumía el mismo suplemento por la mañana y por la noche al menos 5 horas fuera del entrenamiento. Ambos grupos realizaron entrenos de resistencia que aumentaba progresivamente la intensidad de 70% 1RM a 95% de 1RM en el transcurso de 10 semanas. Los resultados mostraron que el grupo PRE-POST alcanzó un incremento significativamente mayor en la masa corporal magra y el aumento del área de la fibra tipo II en comparación con MOR-EVE. Los resultados apoyan los beneficios de la sincronización de nutrientes en el entreno inducida adaptaciones musculares. El estudio estaba limitado por la adición del monohidrato creatina para el suplemento, que puede haber facilitado el siguiente aumento de la captación formación. Además, el hecho de que el suplemento se tomó tanto pre-y post-entrenamiento confunde de si se produce una mediación en la ventana anabólica.

Willoughby et al. [71] también encontraron que el máximo desarrollo dio como resultado positivo adaptaciones musculares. Diecinueve varones no entrenados fueron asignados al azar a recibir 20 gramos de proteína o dextrosa administrada 1 hora antes y después de ejercicio de resistencia.

El entrenamiento consistió de 3 series de 6-8 repeticiones al 85% -90% de intensidad. El entrenamiento fue realizado 4 veces a la semana durante el curso de 10 semanas. Al final del período de estudio, la masa corporal total, masa libre de grasa, y masa del muslo fue significativamente mayor en el grupo suplementado con proteínas en comparación con el grupo que recibió dextrosa. Dado que el grupo que recibe la proteína complementaria consume de 40 gramos de proteína adicionales todos los días de entrenamiento, es difícil discernir si los resultados se deben al aumento de la ingesta de proteínas o el momento de la toma.

En un estudio amplio de sujetos bien entrenados, Hoffman et al. [74] asignó al azar a 33 hombres bien entrenados para recibir un suplemento de proteína por la mañana y por la tarde (n = 13) o inmediatamente antes e inmediatamente después del ejercicio de resistencia (n = 13). Siete participantes sirvieron como controles sin suplementación. El entrenamiento consistió en 3-4 series de 6-10 repeticiones de múltiples ejercicios para todo el cuerpo. La rutina se llevó a cabo 4 días a la semana con una intensidad que aumentó progresivamente durante el curso del período de estudio. Después de 10 semanas, se observaron diferencias significativas entre los grupos con respecto a la masa corporal magra y la masa del cuerpo. El estudio estaba limitado por su uso de la DEXA para evaluar la composición corporal, que carece de la sensibilidad para detectar pequeños cambios en la masa muscular en comparación con otras modalidades de imágenes tales como la RM y la TC [76].

Hulmi et al. [72] cogieron al azar 31 sujetos jóvenes varones no entrenados a 1 de 3 grupos: suplemento de proteínas (n = 11), placebo no calórico (n = 10) o de control (n = 10). Entrenamiento de alta intensidad se llevó a cabo durante 21 semanas. La

suplementación fue proporcionada antes y después del ejercicio. Al final del período de estudio, CSA muscular fue significativamente mayor en el grupo suplementado con proteína en comparación con placebo o control. Una fuerza de este estudio fue su entreno en un período a largo plazo, el apoyo a los efectos beneficiosos de la sincronización de nutrientes en ganancias crónicas hipertróficas. Una vez más, sin embargo, no está claro si los resultados son mejorados asociados con la suplementación con proteína o se debieron a la sincronización o al consumo de proteínas aumentado.

Más recientemente, Erskine et al. [75] no mostraron un beneficio hipertrófica de post-entrenamiento el máximo desarrollo.

Los sujetos fueron 33 hombres jóvenes sin formación, por parejas de proteínas habitual admisión y fuerza de la respuesta a una de 3 semanas antes del estudio del programa de entrenamiento de resistencia. Después de un período de una semana de descanso donde no se realizó ningún entrenamiento, los sujetos fueron aleatoriamente asignados para recibir un suplemento de proteínas o un placebo inmediatamente antes y después ejercicios de resistencia.

El entreno consistió en 6-8 series de flexión de codo llevado a cabo 3 días a la semana durante 12 semanas. No se encontraron diferencias significativas en el volumen muscular o área anatómica sección transversal entre los grupos.

DISCUSIÓN

Pese a las afirmaciones que dicen de que inmediatamente después del ejercicio la ingesta nutricional es esencial para maximizar ganancias hipertróficas, basada en la evidencia de apoyo para este tipo de "ventana anabólica de oportunidad" está lejos de ser definitiva. La hipótesis se basa en gran parte de los su presupuesto de que el entreno es llevado a cabo en un estado de ayuno. Durante el ejercicio de ayunas, un aumento concomitante del desglose de la proteína muscular hace que en el pre-ejercicio el saldo negativo de aminoácidos para poder persistir en el período posterior al ejercicio a pesar de los aumentos inducidos por el entrenamiento en la síntesis de proteína muscular [36].

Así, en el caso del entrenamiento de resistencia después del ayuno nocturno, que tendría sentido para proporcionar una inmediata nutrición - idealmente en forma de una combinación de proteína y hidratos de carbono - a los efectos de promoción de la síntesis de proteína muscular y reduciendo la Proteólisis, con lo que el cambio de un estado catabólico neto en un estado anabólico.

Inevitablemente, esto lleva a la pregunta de cómo la nutrición pre-ejercicio puede influir en la urgencia o la eficacia de la nutrición después del ejercicio, ya que no todo el mundo se dedica al entreno en ayunas. En la práctica, es común para aquellos con el objetivo principal de aumentar el tamaño muscular y / o fuerza para hacer un esfuerzo concertado para consumir una comida previa al ejercicio en 1-2 horas antes del entreno en un intento de maximizar el rendimiento en el entreno.

Dependiendo de su tamaño y composición, esta comida concebiblemente puede funcionar como un pre-y post-ejercicio de una comida inmediata, ya que el curso del tiempo de su digestión / absorción pueden persistir bien entrado en el período de recuperación.

Tipton et al. [63] observó que una dosis relativamente pequeña de EAA (6 g) tomada inmediatamente antes del ejercicio fue capaz de elevar en la sangre y en los niveles musculares de aminoácidos de aproximadamente un 130%, y los niveles de estos permaneció elevado durante 2 horas después de la sesión de ejercicio. Aunque este

descubrimiento fue desafiado posteriormente por Fujita et al. [64], otra investigación por Tipton et al. [65] mostraron que la ingesta de 20 g de suero tomados inmediatamente antes del ejercicio muscular elevaba absorción de aminoácidos a 4,4 veces antes del ejercicio de los niveles de reposo durante el ejercicio, y no le hizo volver a los niveles de línea de base hasta 3 horas después del ejercicio. Estos datos indican que aunque sea toma mínima pre-ejercicio de EAA o proteínas de alta calidad tomada inmediatamente antes del entreno es capaz de sostener la entrega de aminoácidos en el período post-ejercicio. Dado este escenario, inmediatamente posterior a la dosificación de proteína ejercicio para el fin de mitigar el catabolismo parece redundante. La próxima comida programada rica en proteínas (tanto si se produce inmediatamente o 1-2 horas después del ejercicio) es probablemente suficiente para maximizar la recuperación y el anabolismo.

Por otro lado, hay otros que podría entrenar antes del almuerzo o después del trabajo, donde la comida anterior se terminó 4-6 horas antes de comenzar el ejercicio. Este retraso en el consumo de nutrientes puede ser considerado lo suficientemente importantes como para justificar la intervención después del ejercicio si la retención del músculo o el crecimiento es el objetivo principal.

Layman [77] estima que el efecto anabolizante de una comida dura 5-6 horas basado en la tasa de metabolismo postprandial de aminoácidos. Sin embargo, estudios basados en infusión en ratas [78,79] y los seres humanos [80,81] indican que el aumento postprandial de MPS de la ingestión de aminoácidos o de una comida rica en proteínas es más transitoria, volviendo a los valores basales dentro de 3 horas a pesar de elevaciones sostenidas de la disponibilidad de aminoácidos.

Por lo tanto se ha planteado la hipótesis de que un "músculo está en estado de completo" puede ser alcanzado cuando MPS se convierte estado refractario, y aminoácidos circulantes se desvían hacia la oxidación o destinos distintos de MPS.

A la luz de estos hallazgos, cuando el entreno se inicia más de ~ 3-4 horas después de la anterior comida, la recomendación clásica a consumir proteínas (por lo menos 25 g) tan pronto como sea posible parece estar garantizado a fin de revertir el estado catabólico, que a su vez podría acelerar la recuperación muscular y el crecimiento. Sin embargo, como se ilustra anteriormente, menor nutrición pre-ejercicio pueden llevarse a cabo si la comida después del ejercicio se anticipa.

Un área interesante de la especulación es la generalización de estas recomendaciones a través estados de capacitación y grupos de edad. Burd et al. [82] informó de que una serie de entrenamiento de resistencia en sujetos no entrenados estimula tanto la proteína mitocondrial y síntesis miofibrilar, mientras que en sujetos entrenados, la síntesis de proteína se hace más preferencial hacia el componente miofibrilar.

Esto sugiere una respuesta global en menos alumnos avanzados que potencialmente merece una mayor atención a la sincronización y el tipo de proteína (por ejemplo, fuentes altas de leucina tales como las proteínas lácteas) con el fin de optimizar la tasa de adaptación muscular. Además del nivel de entrenamiento, la edad puede influir en las adaptaciones al entrenamiento. Temas investigado en ancianos lo que ha sido denominado "resistencia anabólico", caracterizada por una menor receptividad a los aminoácidos y entrenamiento de resistencia [83]. Los mecanismos que subyacen a este fenómeno no están claras, pero hay evidencias que en los adultos más jóvenes, la respuesta aguda a la alimentación de proteína anabólica aparece una meseta a una dosis más baja que en los sujetos de edad avanzada. Para ilustrar este punto, Moore et al. [84] encontró que 20 g de proteína de huevo entero estimulada al máximo después del ejercicio MPS, mientras que 40 g aumenta la oxidación de la leucina sin ningún incremento adicional en MPS en hombres jóvenes. En contraste, Yang et al. [85]

encontró que los sujetos de edad avanzada muestran mayores aumentos en la MPS cuando el consumo de una dosis posterior al ejercicio de 40 g de proteína de suero en comparación con 20 g. Estos hallazgos sugieren que gente de mayor edad requieren dosis más altas de proteínas individuales con el fin de optimizar la respuesta anabólica al entrenamiento.

Se necesitan investigaciones adicionales para evaluar mejor la respuesta post-entrenamiento para conseguir el máximo desarrollo a través de varias poblaciones, en particular con respecto a capacitado / inexperto y sujetos jóvenes / ancianos.

El cuerpo de la investigación en esta área tiene varias limitaciones. La mayoría de los estudios han examinado suplementación pre-y después del ejercicio, en oposición a la comparación de los dos planteamientos uno contra el otro. Esto evita la posibilidad de aislar los efectos de cualquiera de los tratamientos.

Es decir, no podemos saber si la suplementación pre-o post-ejercicio fue el crítico para los resultados (o falta de ella). Tampoco es posible determinar si los resultados positivos fueron influenciados por el tiempo en relación con el entrenamiento, o simplemente por una mayor ingesta de proteínas en general.

Además, las estrategias de dosificación empleadas en la preponderancia de los estudios crónicos de sincronización de nutrientes han sido demasiado conservadores, proporcionando sólo el 10-20 g de proteínas, cerca de la sesión de ejercicio. Se necesita más investigación usando dosis de proteínas conocidas para maximizar la respuesta anabólica aguda, que ha demostrado ser de aproximadamente 20-40 g, dependiendo de la edad [84,85]. También hay una falta de estudios crónicos para examinar la co-ingestión de proteínas y carbohidratos cerca del entreno. Hasta ahora, los estudios han arrojado resultados contradictorios. En general, no se han corroborado la consistencia de los resultados positivos observados en estudios que examinan la nutrición después del ejercicio.

Otra limitación es que la mayoría de los estudios sobre el tema se han realizado en personas no entrenadas. Adaptaciones musculares en los que no tienen experiencia en entrenamiento de resistencia tienden a ser más robustos, y no necesariamente reflejan la mayor experiencia en sujetos entrenados. Por lo tanto, queda por determinar si el estado de formación influye en la respuesta hipertrófica al post-ejercicio de los suplementos nutricionales.

Una limitación final de la investigación disponible es que los métodos actuales utilizados para evaluar a hipertrofia del músculo son muy dispares, y la precisión de las medidas obtenidas son inexactas [68]. Como tal, es cuestionable si estas herramientas son lo suficientemente sensibles como para detectar pequeños diferencias en la hipertrofia muscular. Aunque pequeñas variaciones en la masa muscular sería de poca relevancia para la población general, que podría ser muy significativa para atletas de elite y culturistas. Así, a pesar de pruebas contradictorias, los beneficios potenciales de suplementos post-ejercicio no pueden ser fácilmente descartados por aquellos que tratan de optimizar una respuesta hipertrófica

APLICACIONES PRÁCTICAS

Dar resultados finales con los datos en firme, las recomendaciones específicas es difícil darlas debido a la inconsistencia de hallazgos y la escasez de investigaciones sistemáticas que buscan optimizar las dosis de proteína y el momento pre-y / o después del ejercicio. Aplicaciones prácticas de sincronización de nutrientes para el objetivo de hipertrofia muscular inevitablemente debe atemperarse con las observaciones de campo y experiencia en con el fin de llenar los vacíos en la literatura científica. Con eso dicho, proteínas de alta calidad a dosis de 0.4-0.5 g / kg de masa

corporal magra tanto en pre-y post-ejercicio es una simple pauta, relativamente a prueba de fallos generales que refleja la evidencia actual muestra un máximo efecto anabólico agudo de 20-40 g [52,84,85]. Por ejemplo, una persona con 70 kg de masa magra consumiría aproximadamente 28-35 g proteína tanto en la comida de ejercicio pre-y post. Si se supera este sería tener un mínimo perjuicio en su caso, mientras que significativamente menor de descuidar por completo para no maximizar la respuesta anabólica.

Debido al impacto transitorio anabólico de una comida rica en proteínas y su sinergia potencial con el estado entrenado, antes y después del ejercicio las comidas no deben estar separadas por más de aproximadamente 3-4 horas, dado un entrenamiento de resistencia típica que dura 45-90 minutos. Si la proteína se come dentro de grandes comidas mixtas (que son inherentemente más anti catabólico), un caso puede ser hecho para alargar el intervalo de 5-6 horas. esta estrategia cubre las prestaciones de temporización hipotéticos mientras que permite una flexibilidad significativa en la longitud de las ventanas de alimentación antes y después del entrenamiento. Momento específico dentro de este marco general podría variar dependiendo de las preferencias individuales y la tolerancia, así como la duración del ejercicio.

Uno de los muchos ejemplos posibles que implican un entreno de resistencia de 60 minutos de entrenamiento podría tener hasta a las ventanas de alimentación de 90 minutos en ambos lados del entreno, la colocación dada central entre las comidas. Desplazamiento de la sesión de entrenamiento más cerca de la comida pre-o post-ejercicio debe ser dictado por preferencia personal, la tolerancia, y estilo de vida / programación de restricciones.

Aún más que con la dosis de proteínas, la toma de carbohidratos está en un área gris carente de datos coherentes para formar recomendaciones concretas. Es tentador recomendar las dosis de hidratos de carbono pre y post ejercicio de por lo menos igualar o superar las cantidades de proteína que se consume en estas comidas. Sin embargo, la disponibilidad de carbohidratos durante y después del ejercicio es de mayor preocupación para los entrenos de resistencia frente a objetivos de fuerza o hipertrofia.

Además, la importancia de carbohidratos con la co-ingestión de proteína después del ejercicio y recientemente se ha cuestionado por los estudios que analizan el período de recuperación temprana, sobre todo cuando se proporciona proteína suficiente. Koopman et al [52] encontró que después de la resistencia de todo entreno, la adición de hidratos de carbono (0,15, o 0,6 g / kg / hr) a ampliamente dosificado de hidrolizado de caseína (0,3 g / kg / h) no aumentó el balance conjunto de la proteína en el cuerpo durante un 6-horas post-ejercicio de período de recuperación en comparación con el tratamiento de sólo con proteína.

Posteriormente, Staples et al [53] informaron de que después de entrenar la parte inferior del cuerpo con ejercicios de resistencia (extensiones de pierna), el aumento en reposo y balance post-ejercicio de proteína muscular de la ingestión de 25 g de aislado de suero de leche no fue mejorada por una adicional toma de 50 g de maltodextrina durante un periodo de recuperación de 3 horas. Para el objetivo de maximizar las tasas de aumento del músculo, estos resultados respaldan el objetivo más amplio de alcanzar los carbohidratos totales diaria que necesita en lugar específicamente cronometrar sus dosis constituyentes. Colectivamente, estos datos indican una mayor potencial de flexibilidad dietaria, manteniendo la búsqueda de la sincronización óptima.

REFERENCIAS

1. Kerksick C, Harvey T, Stout J, Campbell B, Wilborn C, Kreider R, Kalman D, Ziegenfuss, T, Lopez H, Landis J, Ivy JL, Antonio J: International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing. *J Int Soc Sports Nutr.* 2008, 5:17.
2. Ivy J, Portman R: *Nutrient Timing: The Future of Sports Nutrition.* North Bergen, NJ: Basic Health Publications; 2004.
3. Candow DG, Chilibeck PD: Timing of creatine or protein supplementation and resistance training in the elderly. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008, 33(1):184–90.
4. Hulmi JJ, Lockwood CM, Stout JR: Effect of protein/essential amino acids and resistance training on skeletal muscle hypertrophy: A case for whey protein. *Nutr Metab (Lond).* 2010, 7:51.
5. Kukuljan S, Nowson CA, Sanders K, Daly RM: Effects of resistance exercise and fortified milk on skeletal muscle mass, muscle size, and functional performance in middle-aged and older men: an 18-mo randomized controlled trial. *J Appl Physiol* 2009, 107(6):1864–73.
6. Lambert CP, Flynn MG: Fatigue during high-intensity intermittent exercise: application to bodybuilding. *Sports Med.* 2002, 32(8):511–22.
7. MacDougall JD, Ray S, Sale DG, McCartney N, Lee P, Garner S: Muscle substrate utilization and lactate production. *Can J Appl Physiol* 1999, 24(3):209–15.
8. Robergs RA, Pearson DR, Costill DL, Fink WJ, Pascoe DD, Benedict MA, Lambert CP, Zachweija JJ: Muscle glycogenolysis during differing intensities of weight-resistance exercise. *J Appl Physiol* 1991, 70(4):1700–6.
9. Goodman CA, Mayhew DL, Hornberger TA: Recent progress toward understanding the molecular mechanisms that regulate skeletal muscle mass. *Cell Signal* 2011, 23(12):1896–906.
10. Bodine SC, Stitt TN, Gonzalez M, Kline WO, Stover GL, Bauerlein R, Zlotchenko E, Scrimgeour A, Lawrence JC, Glass DJ, Yancopoulos GD: Akt/mTOR pathway is a crucial regulator of skeletal muscle hypertrophy and can prevent muscle atrophy in vivo. *Nat Cell Biol.* 2001, 3(11):1014–9.
11. Jacinto E, Hall MN: Tor signalling in bugs, brain and brawn. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2003, 4(2):117–26.
12. Izumiya Y, Hopkins T, Morris C, Sato K, Zeng L, Viereck J, Hamilton JA, Ouchi N, LeBrasseur NK, Walsh K: Fast/Glycolytic muscle fiber growth reduces fat mass and improves metabolic parameters in obese mice. *Cell Metab.* 2008, 7(2):159–72.
13. McBride A, Ghilagaber S, Nikolaev A, Hardie DG: The glycogen-binding domain on the AMPK beta subunit allows the kinase to act as a glycogen sensor. *Cell Metab.* 2009, 9(1):23–34.
14. Wojtaszewski JF, MacDonald C, Nielsen JN, Hellsten Y, Hardie DG, Kemp BE, Kiens B, Richter EA: Regulation of 5'AMP-activated protein kinase activity and substrate utilization in exercising human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2003, 284(4):E813–22.

15. Creer A, Gallagher P, Slivka D, Jemiolo B, Fink W, Trappe S: Influence of muscle glycogen availability on ERK1/2 and Akt signaling after resistance exercise in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2005, 99(3):950–6.
16. Churchley EG, Coffey VG, Pedersen DJ, Shield A, Carey KA, Cameron-Smith D, Hawley JA: Influence of preexercise muscle glycogen content on transcriptional activity of metabolic and myogenic genes in well-trained humans. *J Appl Physiol* 2007, 102(4):1604–11.
17. Dennis PB, Jaeschke A, Saitoh M, Fowler B, Kozma SC, Thomas G: Mammalian TOR: a homeostatic ATP sensor. *Science* 2001, 294(5544):1102–5.
18. Camera DM, West DW, Burd NA, Phillips SM, Garnham AP, Hawley JA, Coffey VG: Low muscle glycogen concentration does not suppress the anabolic response to resistance exercise. *J Appl Physiol* 2012, 113(2):206–14.
19. Lemon PW, Mullin JP: Effect of initial muscle glycogen levels on protein catabolism during exercise. *J Appl Physiol* 1980, 48(4):624–9.
20. Blomstrand E, Saltin B, Blomstrand E, Saltin B: Effect of muscle glycogen on glucose, lactate and amino acid metabolism during exercise and recovery in human subjects. *J Physiol* 1999, 514(1):293–302.
21. Ivy JL: Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. *Int J Sports Med.* 1998, 19(Suppl 2):S142–5.
22. Richter EA, Derave W, Wojtaszewski JF: Glucose, exercise and insulin: emerging concepts. *J Physiol* 2001, 535(Pt 2):313–22.
23. Derave W, Lund S, Holman GD, Wojtaszewski J, Pedersen O, Richter EA: Contraction-stimulated muscle glucose transport and GLUT-4 surface content are dependent on glycogen content. *Am J Physiol* 1999, 277(6 Pt 1):E1103–10.
24. Kawanaka K, Nolte LA, Han DH, Hansen PA, Holloszy JO: Mechanisms underlying impaired GLUT-4 translocation in glycogen-supercompensated muscles of exercised rats. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2000, 279(6):E1311–8.
25. O’Gorman DJ, Del Aguila LF, Williamson DL, Krishnan RK, Kirwan JP: Insulin and exercise differentially regulate PI3-kinase and glycogen synthase in human skeletal muscle. *J Appl Physiol* 2000, 89(4):1412–9.
26. Berardi JM, Price TB, Noreen EE, Lemon PW: Postexercise muscle glycogen recovery enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *Med Sci Sports Exerc.* 2006, 38(6):1106–13.
27. Ivy JL, Goforth HW Jr, Damon BM, McCauley TR, Parsons EC, Price TB: Early postexercise muscle glycogen recovery is enhanced with a carbohydrate-protein supplement. *J Appl Physiol* 2002, 93(4):1337–44.
28. Zawadzki KM, Yaspelkis BB 3rd, Ivy JL: Carbohydrate-protein complex increases the rate of muscle glycogen storage after exercise. *J Appl Physiol* 1992, 72(5):1854–9.
29. Tarnopolsky MA, Bosman M, Macdonald JR, Vandeputte D, Martin J, Roy BD: Postexercise protein-carbohydrate and carbohydrate supplements increase muscle glycogen in men and women. *J Appl Physiol* 1997, 83(6):1877–83.

30. Jentjens RL, van Loon LJ, Mann CH, Wagenmakers AJ, Jeukendrup AE: Addition of protein and amino acids to carbohydrates does not enhance postexercise muscle glycogen synthesis. *J Appl Physiol* 2001, 91(2):839–46.
31. Jentjens R, Jeukendrup A: Determinants of post-exercise glycogen synthesis during short-term recovery. *Sports Med.* 2003, 33(2):117–44.
32. Roy BD, Tarnopolsky MA: Influence of differing macronutrient intakes on muscle glycogen resynthesis after resistance exercise. *J Appl Physiol* 1998, 84(3):890–6.
33. Parkin JA, Carey MF, Martin IK, Stojanovska L, Febbraio MA: Muscle glycogen storage following prolonged exercise: effect of timing of ingestion of high glycemic index food. *Med Sci Sports Exerc.* 1997, 29(2):220–4.
34. Fox AK, Kaufman AE, Horowitz JF: Adding fat calories to meals after exercise does not alter glucose tolerance. *J Appl Physiol* 2004, 97(1):11–6.
35. Biolo G, Tipton KD, Klein S, Wolfe RR: An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effect of exercise on muscle protein. *Am J Physiol* 1997, 273(1 Pt 1):E122–9.
36. Kumar V, Atherton P, Smith K, Rennie MJ: Human muscle protein synthesis and breakdown during and after exercise. *J Appl Physiol* 2009, 106(6):2026–39.
37. Pitkanen HT, Nykanen T, Knuutinen J, Lahti K, Keinanen O, Alen M, Komi PV, Mero AA: Free amino acid pool and muscle protein balance after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2003, 35(5):784–92.
38. Biolo G, Williams BD, Fleming RY, Wolfe RR: Insulin action on muscle protein kinetics and amino acid transport during recovery after resistance exercise. *Diabetes* 1999, 48(5):949–57.
39. Fluckey JD, Vary TC, Jefferson LS, Farrell PA: Augmented insulin action on rates of protein synthesis after resistance exercise in rats. *Am J Physiol* 1996, 270(2 Pt 1):E313–9.
40. Denne SC, Liechty EA, Liu YM, Brechtel G, Baron AD: Proteolysis in skeletal muscle and whole body in response to euglycemic hyperinsulinemia in normal adults. *Am J Physiol* 1991, 261(6 Pt 1):E809–14.
41. Gelfand RA, Barrett EJ: Effect of physiologic hyperinsulinemia on skeletal muscle protein synthesis and breakdown in man. *J Clin Invest* 1987, 80(1):1–6.
42. Heslin MJ, Newman E, Wolf RF, Pisters PW, Brennan MF: Effect of hyperinsulinemia on whole body and skeletal muscle leucine carbon kinetics in humans. *Am J Physiol* 1992, 262(6 Pt 1):E911–8.
43. Kettelhut IC, Wing SS, Goldberg AL: Endocrine regulation of protein breakdown in skeletal muscle. *Diabetes Metab Rev.* 1988, 4(8):751–72.
44. Kim DH, Kim JY, Yu BP, Chung HY: The activation of NF-kappaB through Akt-induced FOXO1 phosphorylation during aging and its modulation by calorie restriction. *Biogerontology* 2008, 9(1):33–47.
45. Greenhaff PL, Karagounis LG, Peirce N, Simpson EJ, Hazell M, Layfield R, Wackerhage H, Smith K, Atherton P, Selby A, Rennie MJ: Disassociation between the effects of amino acids and insulin on signaling, ubiquitin ligases, and protein turnover in human muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2008, 295(3):E595–604.

46. Rennie MJ, Bohe J, Smith K, Wackerhage H, Greenhaff P: Branched-chain amino acids as fuels and anabolic signals in human muscle. *J Nutr* 2006, 136(1 Suppl):264S–8S.
47. Capaldo B, Gastaldelli A, Antonielli S, Auletta M, Pardo F, Ciociaro D, Guida R, Ferrannini E, Sacca L: Splanchnic and leg substrate exchange after ingestion of a natural mixed meal in humans. *Diabetes* 1999, 48(5):958–66.
48. Power O, Hallihan A, Jakeman P: Human insulinotropic response to oral ingestion of native and hydrolysed whey protein. *Amino Acids*. 2009, 37(2):333–9.
49. Glynn EL, Fry CS, Drummond MJ, Dreyer HC, Dhanani S, Volpi E, Rasmussen BB: Muscle protein breakdown has a minor role in the protein anabolic response to essential amino acid and carbohydrate intake following resistance exercise. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2010, 299(2):R533–40.
50. Tipton KD, Ferrando AA, Phillips SM, Doyle D Jr, Wolfe RR: Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *Am J Physiol* 1999, 276(4 Pt 1):E628–34.
51. Miller SL, Tipton KD, Chinkes DL, Wolf SE, Wolfe RR: Independent and combined effects of amino acids and glucose after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2003, 35(3):449–55.
52. Koopman R, Beelen M, Stellingwerff T, Pennings B, Saris WH, Kies AK, Kuipers H, van Loon LJ: Coingestion of carbohydrate with protein does not further augment postexercise muscle protein synthesis. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2007, 293(3):E833–
53. Staples AW, Burd NA, West DW, Currie KD, Atherton PJ, Moore DR, Rennie MJ, Macdonald MJ, Baker SK, Phillips SM: Carbohydrate does not augment exercise-induced protein accretion versus protein alone. *Med Sci Sports Exerc*. 2011, 43(7):1154–61.
54. Borsheim E, Cree MG, Tipton KD, Elliott TA, Aarsland A, Wolfe RR: Effect of carbohydrate intake on net muscle protein synthesis during recovery from resistance exercise. *J Appl Physiol* 2004, 96(2):674–8.
55. Koopman R, Wagenmakers AJ, Manders RJ, Zorenc AH, Senden JM, Gorselink M, Keizer HA, van Loon LJ: Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increases postexercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2005, 288(4):E645–53.
56. Rasmussen BB, Tipton KD, Miller SL, Wolf SE, Wolfe RR: An oral essential amino acid-carbohydrate supplement enhances muscle protein anabolism after resistance exercise. *J Appl Physiol* 2000, 88(2):386–92.
57. Tang JE, Manolagos JJ, Kujbida GW, Lysecki PJ, Moore DR, Phillips SM: Minimal whey protein with carbohydrate stimulates muscle protein synthesis following resistance exercise in trained young men. *Appl Physiol Nutr Metab* 2007, 32(6):1132–8.
58. Tipton KD, Elliott TA, Cree MG, Wolf SE, Sanford AP, Wolfe RR: Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2004, 36(12):2073–81.
59. Tipton KD, Elliott TA, Ferrando AA, Aarsland AA, Wolfe RR: Stimulation of muscle anabolism by resistance exercise and ingestion of leucine plus protein. *Appl Physiol Nutr Metab* 2009, 34(2):151–61.

60. Phillips SM, Van Loon LJ: Dietary protein for athletes: from requirements to optimum adaptation. *J Sports Sci.* 2011, 29(Suppl 1):S29–38.
61. Phillips SM: The science of muscle hypertrophy: making dietary protein count. *Proc Nutr Soc* 2011, 70(1):100–3.
62. Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, Flakoll PJ: Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2001, 280(6):E982–93.
63. Tipton KD, Rasmussen BB, Miller SL, Wolf SE, Owens-Stovall SK, Petrini BE, Wolfe RR: Timing of amino acid-carbohydrate ingestion alters anabolic response of muscle to resistance exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2001, 281(2):E197–206.
64. Fujita S, Dreyer HC, Drummond MJ, Glynn EL, Volpi E, Rasmussen BB: Essential amino acid and carbohydrate ingestion before resistance exercise does not enhance postexercise muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 2009, 106(5):1730–9.
65. Tipton KD, Elliott TA, Cree MG, Aarsland AA, Sanford AP, Wolfe RR: Stimulation of net muscle protein synthesis by whey protein ingestion before and after exercise. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2007, 292(1):E71–6.
66. Coffey VG, Shield A, Canny BJ, Carey KA, Cameron-Smith D, Hawley JA: Interaction of contractile activity and training history on mRNA abundance in skeletal muscle from trained athletes. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2006, 290(5):E849–55.
67. Timmons JA: Variability in training-induced skeletal muscle adaptation. *J Appl Physiol* 2011, 110(3):846–53.
68. Adams G, Bamman MM: Characterization and regulation of mechanical loading-induced compensatory muscle hypertrophy. *Comprehensive Physiology* 2012, 2829:2970.
69. Esmarck B, Andersen JL, Olsen S, Richter EA, Mizuno M, Kjaer M: Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *J Physiol* 2001, 535(Pt 1):301–11.
70. Cribb PJ, Hayes A: Effects of supplement timing and resistance exercise on skeletal muscle hypertrophy. *Med Sci Sports Exerc.* 2006, 38(11):1918–25.
71. Willoughby DS, Stout JR, Wilborn CD: Effects of resistance training and protein plus amino acid supplementation on muscle anabolism, mass, and strength. *Amino Acids.* 2007, 32(4):467–77.
72. Hulmi JJ, Kovanen V, Selanne H, Kraemer WJ, Hakkinen K, Mero AA: Acute and longterm effects of resistance exercise with or without protein ingestion on muscle hypertrophy and gene expression. *Amino Acids.* 2009, 37(2):297–308.
73. Verdijk LB, Jonkers RA, Gleeson BG, Beelen M, Meijer K, Savelberg HH, Wodzig WK, Dendale P, van Loon LJ: Protein supplementation before and after exercise does not further augment skeletal muscle hypertrophy after resistance training in elderly men. *Am J Clin Nutr* 2009, 89(2):608–16.
74. Hoffman JR, Ratamess NA, Tranchina CP, Rashti SL, Kang J, Faigenbaum AD: Effect of protein-supplement timing on strength, power, and body-composition changes in resistance-trained men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2009, 19(2):172–85.

75. Erskine RM, Fletcher G, Hanson B, Folland JP: Whey protein does not enhance the adaptations to elbow flexor resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2012, 44(9):1791–800.
76. Levine JA, Abboud L, Barry M, Reed JE, Sheedy PF, Jensen MD: Measuring leg muscle and fat mass in humans: comparison of CT and dual-energy X-ray absorptiometry. *J Appl Physiol* 2000, 88(2):452–6.
77. Layman DK: Protein quantity and quality at levels above the RDA improves adult weight loss. *J Am Coll Nutr* 2004, 23(6 Suppl):631S–6S.
78. Norton LE, Layman DK, Bunpo P, Anthony TG, Brana DV, Garlick PJ: The leucine content of a complete meal directs peak activation but not duration of skeletal muscle protein synthesis and mammalian target of rapamycin signaling in rats. *J Nutr* 2009, 139(6):1103–9.
79. Wilson GJ, Layman DK, Moulton CJ, Norton LE, Anthony TG, Proud CG, Rupassara SI, Garlick PJ: Leucine or carbohydrate supplementation reduces AMPK and eEF2 phosphorylation and extends postprandial muscle protein synthesis in rats. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 2011, 301(6):E1236–42.
80. Atherton PJ, Etheridge T, Watt PW, Wilkinson D, Selby A, Rankin D, Smith K, Rennie MJ: Muscle full effect after oral protein: time-dependent concordance and discordance between human muscle protein synthesis and mTORC1 signaling. *Am J Clin Nutr* 2010, 92(5):1080–8.
81. Bohe J, Low JF, Wolfe RR, Rennie MJ: Latency and duration of stimulation of human muscle protein synthesis during continuous infusion of amino acids. *J Physiol* 2001, 532(Pt 2):575–9.
82. Burd NA, Tang JE, Moore DR, Phillips SM: Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *J Appl Physiol* 2009, 106(5):1692–701.
83. Breen L, Phillips SM: Interactions between exercise and nutrition to prevent muscle waste during aging. *Br J Clin Pharmacol* 2012. doi:10.1111/j.1365-2125.2012.04456.x [Epub ahead of print].
84. Moore DR, Robinson MJ, Fry JL, Tang JE, Glover EI, Wilkinson SB, Prior T, Tarnopolsky MA, Phillips SM: Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *Am J Clin Nutr* 2009, 89(1):161–8.
85. Yang Y, Breen L, Burd NA, Hector AJ, Churchward-Venne TA, Josse AR, Tarnopolsky MA, Phillips SM: Resistance exercise enhances myofibrillar protein synthesis with graded intakes of whey protein in older men. *Br J Nutr* 2012, 108(10):1780–8.