

## ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA VENTANA ANABÓLICA EN PERSONAS FÍSICAMENTE ACTIVAS: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### ANALYSIS OF THE ANABOLIC WINDOW BEHAVIOUR IN PHYSICALLY ACTIVE INDIVIDUALS: A LITERATURE REVIEW

Josu Huarte Prieto<sup>1</sup>

Javier Yanci Irigoyen<sup>2</sup>

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte

Universidad del País Vasco, España

[javier.yanci@ehu.eus](mailto:javier.yanci@ehu.eus)

#### Resumen

El propósito de esta revisión fue, en primer lugar, determinar si hay constancia en la literatura científica acerca de la existencia de una ventana anabólica de oportunidad alrededor de las sesiones de entrenamiento, gracias a la cual se puede mejorar las adaptaciones musculares de hipertrofia y fuerza mediante la ingesta de nutrientes durante un periodo de tiempo determinado. En segundo lugar, se pretendía conocer si existe un tiempo limitado de acción de dicha ventana anabólica y, finalmente, analizar las recomendaciones nutricionales adecuadas en los periodos cercanos a las sesiones de entrenamiento expuestas en los distintos trabajos científicos. La búsqueda de información para este trabajo se ha llevado a cabo mediante los buscadores Pubmed (en inglés), Dialnet y Google académico (en castellano). Los criterios de selección aplicados fueron los siguientes: los artículos debían tener relación directa con el entrenamiento y los participantes en los estudios debían ser individuos sanos sin ninguna patología. Los estudios analizados presentan resultados dispares y contradictorios, por lo que resulta complicado determinar la existencia o no de la ventana anabólica y su tiempo de actuación.

**Palabras clave:** suplementación, proteína, carbohidratos, ventana anabólica, posentrenamiento.

#### Abstract

The purpose of this review was first to determine whether there is enough evidence in scientific literature to insure the existence of the anabolic window subsequent to training sessions to improve muscle adaptations of hypertrophy and strength by ingesting certain nutrients during a period of time. The review was also aimed at establishing if there is a limited time of action for such an anabolic window and finally at analyzing which are the appropriate nutritional recommendations for the training sessions given in the various scientific papers. Information was searched using the PubMed search engine (in English) and Google scholar and Dialnet (in Spanish). The search was narrowed to only articles directly related to training and articles with healthy subjects with no pathologies. Given that the studies analyzed present mixed and contradictory results, it is difficult to determine the existence or non-existence of the anabolic window and its time of action.

**Keywords:** supplementation, protein, carbohydrate, anabolic window, post training.



## Introducción

El concepto de ventana anabólica ha sido definido como el periodo de tiempo limitado después de las sesiones de entrenamiento en el cual es necesario ingerir proteínas y carbohidratos para optimizar las adaptaciones musculares de fuerza, hipertrofia y repleción de glucógeno muscular (Aragon y Schoenfeld, 2013). En las dos últimas décadas, el *timing* (momento en el que se ingieren) de los nutrientes ha sido un tema sobre el que se han realizado numerosos estudios e investigaciones (Aragon y Schoenfeld, 2013; Atherton, 2013; Cermak, Res, de Groot, Saris y van Loon, 2012; Koopman et al., 2007; White, Ferrando, Phillips, Doyle y Wolfe, 1999; Tipton et al., 2001; Verdijk et al., 2009). Las bases del *timing* nutricional suponen el consumo de combinaciones de macronutrientes (principalmente proteína y carbohidratos) durante y alrededor de una sesión de ejercicio. La estrategia está diseñada para maximizar las adaptaciones musculares inducidas por el entrenamiento, facilitar la reparación del tejido dañado y la repleción del glucógeno muscular (Aragon y Schoenfeld, 2013).

Aunque los requerimientos nutricionales de los deportistas variarán inevitablemente en función de los ciclos de mayor o menor actividad/entrenamiento (Atherton, 2013), algunas recomendaciones genéricas se pueden aplicar. Por ejemplo, los individuos activos requieren de una ingesta diaria de proteína mayor debido a la degradación del tejido muscular que se produce durante el ejercicio (Campbell et al., 2007). Esto se debe a que el consumo de proteína juega un papel crucial en el mantenimiento de la proteostasis muscular, en la remodelación músculo esquelética y en la recuperación funcional de sesiones intensas de entrenamiento en todas las condiciones (Atherton, 2013).

El *timing* de nutrientes es una estrategia nutricional popular diseñada para optimizar las respuestas adaptativas al ejercicio (Aragon y Schoenfeld, 2013; Cermak et al., 2012; Esmarck et al., 2001). La estrategia implica consumir proteína durante y en proximidad a las sesiones de entrenamiento para facilitar la reparación muscular y aumentar así las adaptaciones de fuerza e hipertrofia posejercicio (Schoenfeld, Aragon y Krieger, 2013). En este sentido, es importante el tipo de proteína a consumir ya que Borsheim, Tipton, Wolf y Wolfe (2002) concluyeron que la ingesta de aminoácidos esenciales es necesaria para estimular la síntesis proteica muscular mientras que los aminoácidos no esenciales no la estimulan.

En cuanto a la importancia del glucógeno muscular en el rendimiento deportivo, Kerksick et al. (2008) señalan que las reservas de glucógeno del organismo son limitadas y durarán unas pocas horas durante el ejercicio de intensidad moderada o alta (65-80 % del VO<sub>2</sub>max). Estos autores (Kerksick et al., 2008) exponen que, conforme los niveles de glucógeno disminuyen, la intensidad del ejercicio decrece y aumenta la destrucción del tejido muscular. Además, destacan por tanto la importancia de la ingesta de carbohidratos preejercicio con el objetivo de aumentar los depósitos endógenos de glucógeno, la ingesta durante el ejercicio para mantener los niveles de glucosa sanguínea y la ingesta posejercicio para maximizar la resíntesis de glucógeno muscular.

La literatura científica relacionada con el *timing* nutricional es extremadamente popular y, por ello, un área de investigación continuamente cambiante (Kerksick et al., 2008). Varios estudios apoyan los beneficios de la ingesta de proteína en el periodo de perientrenamiento para estimular aumentos en la síntesis proteica (Atherton, 2013; Borsheim et al., 2002; Cermak et al., 2012; Koopman et al., 2007; Rasmussen, Tipton, Miller, Wolf y Wolve, 2000; Tipton et al., 2001). Sin embargo, a pesar de la aparente plausibilidad de esta estrategia, la efectividad del *timing* de ingesta de proteínas en estudios con entrenamientos constantes ha sido discutida. Mientras algunos autores defienden que el consumo de proteína en el periodo de perientrenamiento promueve aumentos en fuerza o hipertrofia (Atherton, 2013), otros consideran que su consumo en este periodo no provoca efectos positivos adicionales (Schoenfeld et al., 2013). Este concepto de mejora de las adaptaciones al entrenamiento gracias a la ingesta de proteínas y carbohidratos después de las sesiones de ejercicio ha sido definido como ventana anabólica o ventana de oportunidad (Aragon y Schoenfeld, 2013). En una revisión realizada por Aragon y Schoenfeld (2013), ellos concluyeron que hay falta de evidencia para apoyar una ventana anabólica de oportunidad que nos permita afirmar que las proteínas y carbohidratos deben ser consumidos en inmediata proximidad al ejercicio para maximizar las adaptaciones musculares.

En cuanto a la suplementación combinada de proteína y carbohidratos durante el perientrenamiento, el estudio de Rasmussen et al. (2000) expone que se obtienen mayores ganancias en las adaptaciones de hipertrofia y fuerza al suprimir, mediante la secreción de insulina, la destrucción de proteína muscular. Sin embargo, Glynn et al. (2013) concluyeron que la adición de carbohidratos a la ingesta de aminoácidos esenciales no aumenta el anabolismo muscular. Según lo expuesto anteriormente, los beneficios de la ventana anabólica parecen ser dobles: por un lado reparar la destrucción del tejido muscular y por otro maximizar la repleción de los depósitos de glucógeno muscular. Por lo tanto, las conclusiones derivadas de este artículo pueden ser de especial interés para deportes en los que se produzcan esfuerzos de una alta demanda de fuerza pero que a la vez sean prolongados en el tiempo, como por ejemplo deportes de equipo, deportes de golpeo o deportes de combate.

El objetivo de este artículo fue determinar si existe una ventana anabólica de oportunidad alrededor de las sesiones de entrenamiento de tipo mixto (de fuerza-resistencia). Además, en caso de que esto fuera afirmativo, se pretendía determinar su posible tiempo de actuación (pre, intra o pos entrenamiento) y proponer posibles recomendaciones de ingesta de los diferentes macronutrientes (proteína y carbohidratos) en el periodo del perientrenamiento en función de lo expuesto en la literatura científica.

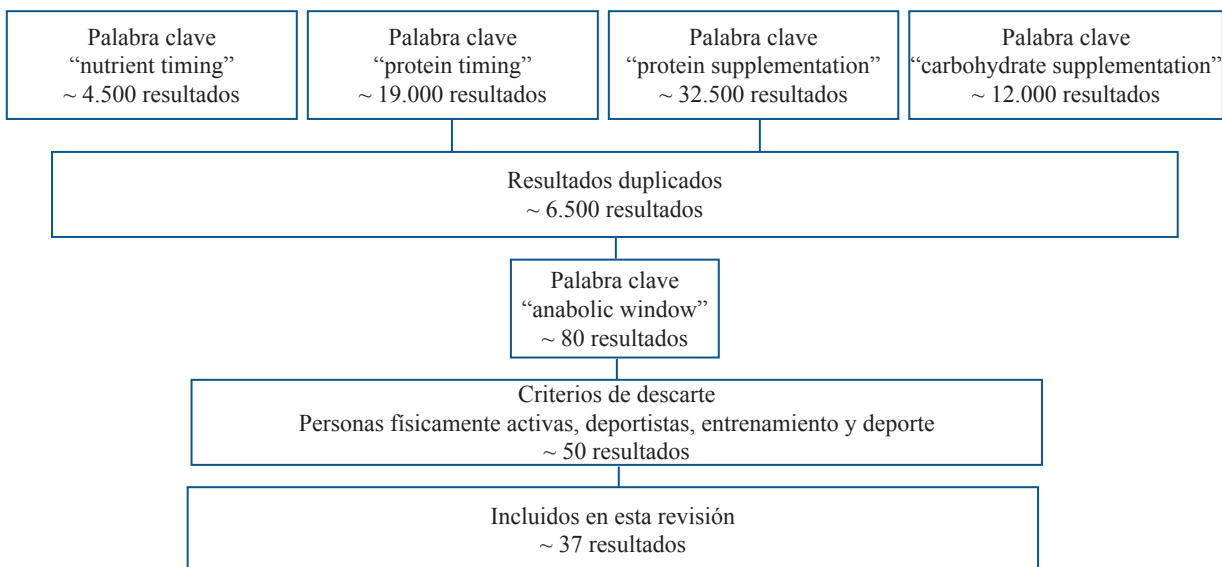
## Metodología

La búsqueda de artículos para este trabajo se ha llevado a cabo mediante los buscadores Pubmed (en inglés), Dialnet y Google académico (en castellano). La búsqueda se ha realizado

desde el 18/11/2014 hasta el 25/01/2015, tanto en las bases de datos en castellano como en las bases de datos en inglés, realizando búsquedas continuas cada 3-5 días. Las palabras clave utilizadas en la búsqueda de los artículos en inglés han sido combinaciones de las siguientes: “*nutrient timing*”, “*protein timing*”, “*protein supplementation*”, “*muscle protein synthesis*”, “*glycogen repletion*” y “*anabolic window*”. Para la búsqueda en castellano se han utilizado las siguientes combinaciones de palabras clave: “tiempo de suplementación”, “suplementación con proteína”, “suplementación con carbohidratos”, “ventana anabólica” y “suplementación post-entrenamiento”.

El número de artículos que arroja la búsqueda para cada palabra son: 1) “*nutrient timing*”: alrededor de 4.500 resultados, 2) “*protein timing*”: alrededor de 19.000, 3) “*protein supplementation*”: alrededor de 32.500, 4) “*carbohydrate supplementation*”: alrededor de 12.000 y 5) “*anabolic window*”: alrededor de 80. La búsqueda realizada en las bases de datos en castellano arroja muy pocos resultados para las palabras clave utilizadas.

Los criterios de selección de los artículos encontrados fueron los siguientes: los artículos debían tener relación directa con el entrenamiento y los participantes en los estudios debían ser individuos sanos sin ninguna patología. El número de artículos consultados inicialmente para la revisión fue de aproximadamente 50, después de aplicar los criterios para descartar los artículos que no cumplieran con los criterios establecidos, y se tomaron como investigaciones principales alrededor de 30 artículos directamente relacionados con el tema de estudio (Figura 1).



**Figura 1.** Proceso de selección de estudios

## Propósito

A pesar de que la ciencia sobre el *timing* de los nutrientes es muy popular (Kerksick et al., 2008), los estudios analizados presentan encontrar resultados dispares y contradictorios. Algunas investigaciones han encontrado mejores efectos mediante la suplementación con proteína y carbohidratos en proximidad al ejercicio (Atherton, 2013; Esmarck et al., 2001; Mori, 2014; Rasmussen et al., 2000), mientras que otros no encuentran suficiente evidencia para afirmar la existencia de la ventana anabólica (Aragon y Schoenfeld, 2013; Borsheim et al., 2002; Schoenfeld et al., 2013; Verdijk et al., 2009). Una posible explicación a la diferencia de resultados que podemos observar en la literatura científica sobre este tema son los factores distractores a los que hacen frente los estudios. Aspectos como la edad, el género, el nivel de entrenamiento, la cantidad diaria total de proteína ingerida o el tipo y dosis de la suplementación, son factores de confusión que dificultan la interpretación de los resultados y la obtención de conclusiones sólidas (Schoenfeld et al., 2013).

Debido a la disparidad de resultados encontrados en la literatura científica, es necesaria una revisión bibliográfica para recoger y analizar los aspectos publicados hasta el momento relacionados con el *timing* nutricional alrededor de las sesiones de entrenamiento y su efecto en cuanto a la mejora de las adaptaciones de hipertrofia y repleción del glucógeno muscular.

## Resultados

### Suplementación con proteína y aminoácidos esenciales

En cuanto a la suplementación con proteína (entre 20 y 40 gramos), cabe destacar en primer lugar que varios autores coinciden en afirmar su efectividad a la hora de aumentar la respuesta adaptativa del tejido muscular al entrenamiento de fuerza (Atherton, 2013; Campbell et al., 2007; Cermak et al., 2012; Kerksick et al., 2008; Stark, Lukaszuk, Prawitz y Salacinski, 2012). Aragon y Schoenfeld (2013) establecen una cantidad de suplementación con proteína para el perientrenamiento en función del peso del deportista recomendando consumir entre 0,4 y 0,5 gramos por kilo de peso entre el pre y el pos entrenamiento. Los aminoácidos esenciales (entre 6 y 10 gramos) también parecen mejorar esta respuesta (Atherton, 2013; Campbell et al., 2007; Cermak et al., 2012; Kerksick et al., 2008; Tipton et al., 2001). Atherton (2013) afirma que el balance entre la síntesis de proteína muscular y la destrucción de proteína muscular después del ejercicio es negativo si no se aportan los nutrientes adecuados (el ejercicio por sí solo es catabólico). Si se aportan los nutrientes adecuados posejercicio, el balance cambia a positivo y la síntesis de proteína (Muscle Protein Synthesis) pasa a ser mayor que la destrucción de proteína (Muscle Protein Breakdown).

A pesar de que la duración del incremento en la síntesis de proteína muscular y la destrucción de proteína muscular dependerá del tipo, la duración, la intensidad del ejercicio

y del nivel de entrenamiento del sujeto (Atherton, 2013), en general, para la reparación del tejido muscular, los aminoácidos esenciales (AAE) son los principales responsables de dicha reparación. Sin embargo, en la literatura científica se ha expuesto que hay poca o ninguna influencia de los aminoácidos no esenciales (Borsheim et al., 2002; Schoenfeld et al., 2013). La cantidad adecuada de AAE para estimular al máximo la síntesis proteica es de 6 a 10 gramos y se ha expuesto que cantidades superiores no producen una mayor síntesis (Schoenfeld et al., 2013). Así mismo, la cantidad de proteína que crea mayor anabolismo posejercicio va de 20 a 40 gramos de proteína de alto valor biológico (Atherton, 2013), es decir, aquella con un elevado nivel de absorción y síntesis en el cuerpo (Moro, 2007). En cuanto al tipo de proteína posejercicio, la proteína de rápida asimilación (por ejemplo la proteína de *whey*) es adecuada para estimular la síntesis de proteína muscular mientras que la de lenta asimilación (como la caseína) es recomendable para disminuir la destrucción de proteína muscular (Tang et al., 2009). A pesar de esto, existe controversia en este sentido ya que autores como Schoenfeld y Aragón (2013) dan mayor importancia a la ingesta diaria total de proteína que al tipo o tiempo de ingesta. En esta misma línea, las cantidades diarias de proteína recomendadas van de 1,4 a 2 g/kg/día para individuos físicamente activos (Campbell et al., 2007).

## Suplementación con carbohidratos

La suplementación con carbohidratos también ha tenido especial relevancia en la literatura científica (Atherton, 2013; Glynn et al., 2013; Kerksick et al., 2008; Koopman et al., 2007; Tipton et al., 2001). Atendiendo a un estudio realizado por Kerksick et al. (2008), el consumo en el periodo de posentrenamiento de altas cantidades de carbohidratos (8-10 g/kg/día) estimula la repleción de glucógeno. Concretamente, estos autores recomiendan la ingesta de 0,6-1 g/kg/h de carbohidratos durante las 4 a 6 horas posejercicio (primera toma durante los primeros 30 minutos) para contribuir a la adecuada resíntesis de los depósitos de glucógeno. En cuanto a tipo de ingestas, se ha observado que las formas sólidas y líquidas de carbohidratos contribuyen de forma similar a la resíntesis de los depósitos de glucógeno (Kerksick et al., 2008).

## Suplementación combinada

Existe la creencia de que los carbohidratos y las proteínas deberían ser ingeridas conjuntamente para maximizar la respuesta de síntesis de proteína muscular posejercicio (Koopman et al., 2007). Aunque la ingesta de carbohidratos por sí solos parece no estimular la síntesis de proteína muscular (Borsheim et al., 2004; Roy, Tarnopolsky, MacDougall, Fowles y Yarasheski, 1997), se ha establecido que mejora el balance neto mediante la inhibición de la destrucción de proteína muscular gracias a la acción de la insulina (Borsheim et al., 2004). Sin embargo, según los estudios de Glynn et al. (2013) y Koopman et al. (2007), la adición de carbohidratos a la ingesta de proteína no aumenta el anabolismo muscular. La explicación a esto puede consistir en que la degradación de proteína muscular se suprime de forma máxima

(alrededor del 50 %) con incrementos pequeños de insulina en sangre y que la ingesta de la cantidad de proteína posejercicio recomendada (mínimo 20 g) por sí sola es suficiente para conseguir estos incrementos (Atherton, 2013).

No obstante, esto no quiere decir que la suplementación combinada de carbohidratos con proteína no sea interesante en el deporte, ya que aunque no parece haber mayores beneficios en cuanto al balance neto posejercicio (diferencia entre síntesis y destrucción de proteína muscular), no se pueden olvidar los beneficios que aporta en cuanto a la resíntesis de glucógeno muscular (Koopman et al., 2007). Además, a pesar de que la adición de carbohidratos a la ingesta de proteína no parece mejorar la respuesta muscular (Borsheim et al., 2002; Glynn et al., 2013; y Koopman et al., 2002), se da la paradoja de que la adición de proteínas a la ingesta de carbohidratos parece aumentar la repleción de glucógeno muscular (Kerksick et al., 2008). En relación con el tiempo de ingesta de los carbohidratos, según señala este autor, retrasarla dos horas después del ejercicio puede reducir la resíntesis al 50 % debido a que la sensibilidad del músculo a la insulina se reduce con el tiempo. Según Kerksick et al. (2008), la relación adecuada de proteínas y carbohidratos para maximizar la resíntesis de glucógeno muscular podría ser de un ratio de 3-4:1 (carbohidrato: proteína).

## Ventana anabólica

En algunos estudios de investigación (Cermak et al., 2012; Glynn et al., 2013; Koopman et al., 2007; Rasmussen et al., 2000) se han tratado aspectos como los efectos, los tipos y las cantidades de suplementación con proteínas, carbohidratos y ambos combinados sin hacer ninguna consideración sobre el tiempo de ingesta. En este sentido, el momento donde se produce la suplementación podría ser un factor a tener en cuenta ya que algunos estudios han estudiado la influencia que tiene este aspecto en la síntesis de proteína muscular (Aragon y Schoenfeld, 2013; Atherton, 2013; Borsheim et al., 2002; Esmarck et al., 2001; Kerksick et al., 2008; Rasmussen et al., 2000; Schoenfeld et al., 2013; Tang et al., 2009; Tipton et al., 1999; Tipton et al., 2001). Incluso, uno de los estudios ha encontrado diferencias sobre el *timing* en función del nivel de entrenamiento (Mori, 2014).

Aragon y Schoenfeld (2013) hacen referencia a una ventana anabólica de oportunidad por la cual existe un tiempo limitado para optimizar las adaptaciones musculares después del entrenamiento. En este sentido, el consumo de un ratio adecuado de nutrientes durante este periodo favorece tanto la reparación del tejido muscular como la resíntesis de las reservas energéticas (glucógeno muscular) de forma súpercompensada, mejorando tanto la composición corporal como el rendimiento deportivo (Schoenfeld et al., 2013).

Para activar la síntesis de proteína muscular es necesaria la ingesta de proteína posejercicio, específicamente la vía del complejo mTOR (Lynch, 2013). Esta vía está implicada en los mecanismos de hipertrofia muscular (Helms, Aragon y Fitschen, 2014) y es responsable de iniciar la activación de la traducción del ARN mensajero y la actividad ribosómica que son medidas que limitan la velocidad de la síntesis de proteína (Lynch, 2013). Los incrementos

en la síntesis de proteína muscular estimulados por la nutrición son de duración finita (1,5 horas aproximadamente), sin embargo, mediante la combinación de ejercicio y nutrición puede prolongarse hasta  $\geq 24$  horas posejercicio (Atherton y Smith, 2012). En cuanto a la destrucción de proteína muscular, los factores catabólicos como el cortisol, la creatina quinasa (CK) y la lactato deshidrogenasa (LDH) son perjudiciales para un balance neto (entre síntesis y destrucción de proteína muscular) positivo (Lynch, 2013). Otro factor que favorece el catabolismo es la activación del complejo AMPK que reduce la síntesis de proteína muscular e induce a la destrucción de proteína muscular (Atherton y Smith, 2012).

## Aporte pre y pos entrenamiento

La gran mayoría de la literatura científica sobre el *timing* de los nutrientes está centrada en el periodo posentrenamiento (Aragon y Schoenfeld, 2013; Borsheim et al., 2002; Esmarck et al., 2001; Glynn et al., 2013; Koopman et al., 2007; Mori, 2014; Rasmussen et al., 2000; Tang et al., 2009; Tipton et al., 1999) ya que este es el periodo de suplementación más popular y estudiado. Sin embargo, hay también algunos artículos que han estudiado el periodo de preentrenamiento (Coburn et al., 2006; Schoenfeld et al., 2013; Tipton et al., 2001; Verdijk et al., 2009; White et al., 2008). Tipton et al. (2001) compararon la suplementación con aminoácidos y carbohidratos en el periodo preentrenamiento respecto al periodo posentrenamiento, llegando a la conclusión de que realizar la ingesta de estos macronutrientes antes del ejercicio podría aportar mayores beneficios. En dicho estudio dividieron la muestra en dos grupos, ambos tomaron la misma bebida que contenía 6 gramos de aminoácidos esenciales y 35 de sacarosa. Mientras que un grupo realizó la ingesta inmediatamente antes del entrenamiento, el otro la realizó inmediatamente después. Los resultados mostraron que los sujetos que realizaron la toma inmediatamente antes del ejercicio tuvieron una mayor respuesta anabólica respecto de los que lo tomaron inmediatamente después. A pesar de que el balance neto fue positivo en ambos grupos, este fue significativamente mayor en el grupo de pre-entrenamiento. La respuesta de síntesis de proteína muscular fue mayor en el grupo de posentrenamiento pero se mantuvo durante más tiempo en el grupo de preentrenamiento, resultando en un mayor balance neto. Los autores del estudio sugieren que los resultados obtenidos pueden explicarse debido a que proveer de aminoácidos al músculo cuando el flujo sanguíneo se encuentra elevado (durante el entrenamiento) parece ofrecer un estímulo máximo de síntesis proteica, gracias al aumento del aporte al músculo (Tipton et al., 2001). De esta manera, la reparación del tejido muscular se inicia de la forma más rápida posible. Sin embargo, debido a los escasos estudios al respecto, el periodo de aporte de nutrientes preentrenamiento es todavía un área que necesita mayor estudio.

## Diferencias según nivel de entrenamiento

Por otro lado, Mori (2014) establece diferencias según el nivel de entrenamiento. En su estudio, un grupo de deportistas entrenados ingirió una bebida de proteínas y carbohidratos inmediatamente después del entrenamiento y otro seis horas después. Este mismo protocolo fue



suministrado a los grupos de no entrenados. Las mediciones para determinar las adaptaciones musculares se realizaron mediante el balance de nitrógeno. El resultado fue que se encontraron diferencias entre el grupo de entrenados y no entrenados. Mientras que no había diferencias significativas entre el grupo de no entrenados que había consumido la bebida inmediatamente después y el que había retrasado su ingesta seis horas, en el grupo de entrenados sí que hubo diferencias significativas en el balance de nitrógeno en función del tiempo de ingesta (Mori, 2014). Las diferencias entre los distintos niveles de entrenamiento puede venir explicada por la síntesis de proteína muscular que se eleva antes en los entrenados y en un periodo más breve, mientras que en deportistas no entrenados se produce más tarde, pero se mantiene elevada durante más tiempo (Burd, Tang, Moore y Phillips, 2009). Esto podría explicar cómo el grupo de entrenados que retardó seis horas su ingesta no obtuvo los mayores beneficios de estos macronutrientes, mientras que el grupo de no entrenados, al ser capaces de mantener la síntesis de proteína muscular elevada durante más tiempo, aumentó su anabolismo muscular incluso cuando la ingesta de nutrientes fue retardada. Este estudio pone de manifiesto que pueden ser varios los factores que hay que tener en cuenta a la hora de establecer una posible ventana anabólica o de oportunidad cuya duración puede variar en función de cada sujeto.

## Aporte de macronutrientes

Este apartado se centrará en el tipo y cantidades de los macronutrientes para maximizar las adaptaciones musculares de reparación del tejido muscular y de resíntesis de glucógeno. Los aminoácidos de cadena ramificada (leucina, isoleucina y valina) son aminoácidos esenciales que constituyen aproximadamente 1/3 de la masa muscular esquelética y su ingesta es adecuada para aumentar la síntesis de proteína muscular posejercicio, reducir la degradación de proteína muscular, mejorar la resíntesis de glucógeno muscular y, por consiguiente, ayudar a la recuperación del entrenamiento (Campbell et al., 2007). Tal y como se ha descrito, de estos tres aminoácidos esenciales, la leucina es la que parece jugar el papel más significativo en cuanto al estímulo de la síntesis de proteína muscular (Tang et al., 2009). En este sentido, la cantidad diaria recomendada de leucina es de 45 mg/kg/día para sedentarios y para deportistas se recomienda una ingesta algo mayor (Campbell et al., 2007). Un suplemento para sujetos deportistas después de entrenar debería contener entre 3 y 4 gramos de leucina para estimular la síntesis de proteína muscular al máximo (Stark et al., 2012).

La cantidad adecuada de aminoácidos esenciales posejercicio es de 6 a 10 gramos, siendo esta cantidad la que produce mayor síntesis de proteína muscular, mientras que cantidades superiores parecen no producir mayores ganancias (Schoenfeld et al., 2013). La cantidad diaria recomendada de proteína es de 0,8 gramos por kilogramo de peso y por día para adultos sanos físicamente inactivos (Campbell et al., 2007). Para deportistas de resistencia, las recomendaciones se elevan y son de 1 a 1,6 g/kg/día (Lemon, 2000) mientras que para los deportistas de fuerza y potencia las recomendaciones llegan hasta los 1,6-2,0 g/kg/día (Tarnopolsky, 1992). En la

literatura científica también encontramos recomendaciones más específicas en función de los kilos de masa magra en lugar del peso total del sujeto, estas recomendaciones van de 2,3 a 3,1 g/kg de masa magra (Helms et al., 2014).

En cuanto al tipo de proteína adecuada para consumir en el periodo cercano al entrenamiento, las proteínas de rápida asimilación, como por ejemplo la proteína de *whey*, son más efectivas a la hora de estimular la síntesis de proteínas; mientras que las de lenta asimilación, como por ejemplo la caseína, son más efectivas para frenar la degradación de proteína muscular (Tang et al., 2009). Por otro lado, para mantener los depósitos de glucógeno de la mejor manera posible y evitar la pérdida del rendimiento durante el entrenamiento se deberían consumir carbohidratos en un ratio de 30 a 60 gramos por hora cada 10-15 minutos en una solución de 6-8 % de CHO (Jeukendrup, Jentjens y Moseley, 2005). Para la recuperación después del ejercicio se recomienda una ingesta de 1,5 g/kg de CHO durante los primeros 30 minutos para maximizar la resíntesis de glucógeno (Ivy, 1998). De esta forma, se recomienda una ingesta diaria total de 9-10 g/kg/día de carbohidratos para atletas que entrenan intensamente en días consecutivos (Nicholas, Green y Hawkins, 1997). Así mismo, la forma en la que se ingieren los carbohidratos, ya sea sólida o líquida, no parece ser importante y ambas promueven niveles similares de repleción de glucógeno muscular (Keizer, Kuipers y van Kranenburg, 1987; Tarnopolsky et al., 2005). En cuanto al tipo de carbohidrato a consumir, los de alto índice glucémico, como son la glucosa, fructosa y sacarosa, son adecuados, sin embargo la fructosa es la que resulta en menores niveles de resíntesis de glucógeno comparado con otros carbohidratos simples, ya que se absorbe de forma más lenta (Conlee, Lawler y Ross, 1987). Además, cantidades elevadas de fructosa pueden provocar problemas gastrointestinales (Kerksick et al., 2008). Así mismo, se ha observado que añadir creatina en cantidades de 0,1 g/kg/día a la suplementación de carbohidratos y proteínas puede ayudar a mejorar las adaptaciones de fuerza y composición corporal del entrenamiento (Kerksick et al., 2008).

Para la suplementación combinada de carbohidratos y proteínas, se ha establecido que el ratio adecuado entre carbohidratos y proteínas para la ingesta alrededor del entrenamiento es de 3-4:1 (CHO: PRO) (Ivy, Res, Sprague y Widzer, 2003; Saunders, Kane y Todd, 2004).

## Conclusiones

En primer lugar, cabe destacar que la literatura científica relacionada con el *timing* nutricional es muy popular, ya que esta es un área de investigación continuamente cambiante. Uno de los temas de mayor interés en cuanto al tiempo de los nutrientes es el concepto de ventana anabólica, definido como el periodo de tiempo limitado después de las sesiones de entrenamiento en el cual es necesario ingerir proteínas y carbohidratos para optimizar las adaptaciones musculares de fuerza, hipertrofia y repleción de glucógeno muscular.

En cuanto al consumo de proteína, varios autores coinciden en afirmar la efectividad de la proteína a la hora de aumentar la respuesta adaptativa del tejido muscular al entrenamiento de fuerza. La importancia de la ingesta de macronutrientes en el periodo posentrenamiento

puede explicarse mediante el balance entre síntesis y destrucción de proteína muscular que permanece negativo después del ejercicio si no se aportan los nutrientes adecuados (el ejercicio es de por sí solo catabólico); mientras que si se aportan los nutrientes adecuados posejercicio, el balance cambia a positivo. Un tipo de nutriente adecuado para este periodo podrían ser los aminoácidos esenciales (AAE), que en general son los principales responsables de la reparación del tejido muscular; sin embargo, en la literatura científica se ha expuesto que en este sentido los aminoácidos no esenciales tienen poca o ninguna influencia.

Con respecto a la adición de carbohidratos a la ingesta de proteína posejercicio, a pesar de que parece no producir mejoras en el anabolismo muscular, el añadir proteínas a la ingesta de carbohidratos podría aumentar la repleción de glucógeno muscular respecto a la suplementación únicamente con carbohidratos. Además, la suplementación combinada entre proteínas y carbohidratos parece ser adecuada por el doble beneficio de reparación del tejido muscular y repleción de los depósitos de glucógeno.

Respecto al tiempo de ingesta, el periodo de preentrenamiento podría ser también importante para la suplementación con proteínas y carbohidratos. Además, la proximidad de la suplementación al ejercicio parece ser más importante en sujetos entrenados que en no entrenados.

A pesar de que se deberían tener en cuenta numerosos factores personales, como la edad, el género, la composición corporal y el nivel de entrenamiento, a la hora de establecer unas pautas nutricionales adecuadas para el periodo alrededor del entrenamiento, se pueden aplicar algunas recomendaciones generales para deportistas que participen en modalidades con importantes requerimientos de fuerza y prolongados en el tiempo (necesidad de reparación del tejido muscular y de rellenar los depósitos de glucógeno muscular), como por ejemplo deportes de equipo o de combate.

Estos deportistas deberían ingerir los dos macronutrientes de los que se ha hablado principalmente en este artículo, es decir, proteínas y carbohidratos. En cuanto a las proteínas o aminoácidos, sería recomendable consumir entre 20 y 40 gramos de proteína, si es de rápida asimilación, como por ejemplo la proteína de *whey*, o entre 6 y 10 gramos de aminoácidos esenciales teniendo en cuenta que la leucina es el principal a la hora de estimular la síntesis de proteína muscular. Según lo expuesto en este artículo, el tiempo de ingesta óptimo puede ser inmediatamente antes del entrenamiento, durante o después del mismo a la mayor brevedad posible (especialmente en el caso de deportistas con alto nivel de entrenamiento). En cuanto a la repleción de glucógeno muscular con carbohidratos, lo aconsejable sería tomar entre 0,6 y 1,5 gr/kg durante los 30 primeros minutos después del entrenamiento ya que pasado este tiempo se reduce la resíntesis por la reducción de la sensibilidad a la insulina. Por último, sería aconsejable tener en cuenta que la adición de proteína a la ingesta de carbohidratos posejercicio puede mejorar aún más la repleción de glucógeno muscular.

## Recomendaciones futuras

Se han realizado algunos estudios sobre el *timing* nutricional, a pesar de ello, actualmente continua sin haber suficiente evidencia para afirmar o negar la existencia de la ventana anabólica en el periodo del perientrenamiento. Sin embargo, el hecho de que sea un concepto complejo da muchas posibilidades para la investigación. El periodo de suplementación preentrenamiento está menos estudiado que el periodo posentrenamiento. Sin embargo el periodo de suplementación previo al ejercicio necesita mayor estudio y puede ser una futura línea de investigación. Otro tema de interés puede ser la diferencia en cuanto a la síntesis de proteínas y la resíntesis de glucógeno muscular en función de si se consumen nutrientes en forma de productos de suplementación deportiva o en forma de comida natural. La influencia que tiene el nivel de entrenamiento de los sujetos en cuanto al periodo de duración de la ventana anabólica es un tema muy interesante. Otra futura línea de investigación podría ser el conocimiento de las diferencias en cuanto a la síntesis de proteína muscular entre la suplementación con aminoácidos esenciales o con proteína entera. Por último, un punto de interés a estudiar pueden ser las interacciones entre la suplementación con carbohidratos y la suplementación con proteínas, ya que mientras algunos autores hablan de que añadir carbohidratos a la suplementación con proteínas resulta en un mayor balance neto, otros sin embargo desmienten esta teoría.

## Referencias bibliográficas

- Aragon, A. A., & Schoenfeld, B. J. (2013). Nutrient timing revisited: is there a post-exercise anabolic window? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 5.
- Atherton, P. J., & Smith, K. (2012). Muscle protein synthesis in response to nutrition and exercise. *The Journal of physiology*, 590(5), 1049-1057.
- Atherton, P. J. (2013). Is there an optimal time for warfighters to supplement with protein? *The Journal of Nutrition*, 143, 1848S–1851S. doi:10.3945/jn.113.175984
- Borsheim, E., Tipton, K. D., Wolf, S. E., & Wolfe, R. R. (2002). Essential amino acids and muscle protein recovery from resistance exercise. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 283(4), 648-657.
- 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. *Journal of Applied Physiology*, 96(2), 674-678.
- Burd, N. A., Tang, J. E., Moore, D. R., & Phillips, S. M. (2009). Exercise training and protein metabolism: influences of contraction, protein intake, and sex-based differences. *Journal of Applied Physiology*, 106(5), 1692-1701.

- Cermak, N. M., de Groot, L. C., Saris, W. H. & van Loon, L. J. (2012). Protein supplementation augments the adaptive response of skeletal muscle to resistance-type exercise training: a meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 96(6), 1454-1464.
- 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. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 31(2), 126-132.
- Campbell, B., Kreider, R. B., Ziegenfuss, T., La Bounty, P., Roberts, M., Burke, D., ... & Antonio, J. (2007). International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 4(8), 8.
- Esmarck, B., Andersen, J. L., Olsen, S., Richter, E. a., Mizuno, M., & Kjaer, M. (2001). Timing of postexercise protein intake is important for muscle hypertrophy with resistance training in elderly humans. *Journal of Physiology*, 535(1), 301-311.
- Glynn, E. L., Fry, C. S., Timmerman, K. L., Drummond, M. J., Volpi, E., & Rasmussen, B. B. (2013). Addition of carbohydrate or alanine to an essential amino acid mixture does not enhance human skeletal muscle protein anabolism. *The Journal of Nutrition*, 143(3), 307-14.
- Helms, E. R., Aragon, A. A., & Fitschen, P. J. (2014). Evidence-based recommendations for natural bodybuilding contest preparation: nutrition and supplementation. *J Int Soc Sports Nutr*, 11(1), 20.
- Ivy, J. L. (1998). Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. *International Journal of Sports Medicine*, 19, 142-145.
- 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. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13, 382-395.
- Jeukendrup, A. E., Jentjens, R. L., & Moseley, L. (2005). Nutritional considerations in triathlon. *Sports Medicine*, 35(2), 163-181.
- Keizer, H. A., Kuipers, H., Van Kranenburg, G., & Geurten, P. (1987). Influence of liquid and solid meals on muscle glycogen resynthesis, plasma fuel hormone response, and maximal physical working capacity. *International Journal of Sports Medicine*, 8(2), 99-104.
- Kerksick, C., Harvey, T., Stout, J., Campbell, B., Wilborn, C., Kreider, R., ... Antonio, J. (2008). International Society of Sports Nutrition position stand: nutrient timing. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 5, 17. doi:10.1186/1550-2783-5-17
- Koopman, R., Beelen, M., Stellingwerff, T., Pennings, B., Saris, W. H. M., Kies, A. K., ... van Loon, L. J. C. (2007). Coingestion of carbohydrate with protein does not further augment

postexercise muscle protein synthesis. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, 293(3), E833–E842. doi:10.1152/ajpendo.00135.2007

Lemon, P. W. (2000). Beyond the zone: protein needs of active individuals. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(sup5), 513S-521S.

Lynch, S. (2013). The differential effects of a complex protein drink versus isocaloric carbohydrate drink on performance indices following high-intensity resistance training: a two arm crossover design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 31.

Mori, H. (2014). Effect of timing of protein and carbohydrate intake after resistance exercise on nitrogen balance in trained and untrained young men. *Journal of Physiological Anthropology*, 33(1), 24. doi:10.1186/1880-6805-33-24

Moro, C. (2007). *Nutrición de alto rendimiento en el deporte*. Barcelona, España: Olympus Sport Nutrición S.A.

Nicholas, C. W., Green, P. A., Hawkins, R. D., & Williams, C. (1997). Carbohydrate intake and recovery of intermittent running capacity. *International Journal of Sport Nutrition*, 7(4), 251-260.

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. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md. : 1985)*, 88(2), 386–392.

Roy, B. D., Tarnopolsky, M. A., MacDougall, J. D., Fowles, J., & Yarasheski, K. E. (1997). Effect of glucose supplement timing on protein metabolism after resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 82(6), 1882-1888.

Saunders, M. J., Kane, M. D., & Todd, M. K. (2004). Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(7), 1233-1238.

Schoenfeld, B. J., Aragon, A. A., & Krieger, J. W. (2013). The effect of protein timing on muscle strength and hypertrophy: a meta-analysis. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1), 53.

Stark, M., Lukaszuk, J., Prawitz, A., & Salacinski, A. (2012). Protein timing and its effects on muscular hypertrophy and strength in individuals engaged in weight-training. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 1-8.

Tang, J. E., Moore, D. R., Kujbida, G. W., Tarnopolsky, M. a., & Phillips, S. M. (2009). Ingestion of whey hydrolysate, casein, or soy protein isolate: effects on mixed muscle protein synthesis at rest and following resistance exercise in young men. *Journal of Applied Physiology*, 107(3), 987–992.

- Tarnopolsky, M. A., Gibala, M., Jeukendrup, A. E., & Phillips, S. M. (2005). Nutritional needs of elite endurance athletes. Part I: Carbohydrate and fluid requirements. *European Journal of Sport Science*, 5(1), 3-14.
- Tipton, K. D., Ferrando, A. A., Phillips, S. M., Doyle, D., & Wolfe, R. R. (1999). Postexercise net protein synthesis in human muscle from orally administered amino acids. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 276(4), 628-634.
- 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. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 281(2), 197-206.
- Verdijk, L. B., Jonkers, R. A., Gleeson, B. G., Beelen, M., Meijer, K., Savelberg, H. H., ... & van Loon, L. J. (2009). Protein supplementation before and after exercise does not further augment skeletal muscle hypertrophy after resistance training in elderly men. *The American journal of clinical nutrition*, 89(2), 608-616.
- 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. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 5(1), 1-7.

Recepción: 8 de octubre del 2015

Corrección: 4 de abril del 2016

Aceptación: 10 de mayo del 2016

Publicación: 30 de mayo del 2016

- 
- 1 Josu Huarte Prieto. Graduado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad del País Vasco (UPV/EHU). Anteriormente se desempeñó como Personal Trainer & Wellness Coaching. En la actualidad se desempeña en la Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
  - 2 Javier Yanci Irigoyen. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Trabaja como Profesor universitario en la Facultad de Educación y Deporte, Universidad del País Vasco (UPV/EHU), España. El Doctor Yanci es miembro del Comité de Ética para la investigación con Seres Humanos de la Universidad del País Vasco y ha participado como revisor científico de revistas nacionales e internacionales.