



TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE LA VENTANA ANABÓLICA EN PERSONAS PRACTICANTES DE FITNESS FÍSICAMENTE ACTIVAS (REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)

AUTOR: Huarte Prieto, Josu

DIRECTOR: Yanci Irigoyen, Javier

CURSO ACADÉMICO: 2014/2015

CONVOCATORIA: 1º

INDICE

1. Introducción.....	3
2. Método.....	5
3. Definición de términos.....	6
4. Teoría sobre la suplementación post-ejercicio.....	8
4.1 Suplementación con proteína.....	8
4.2 Suplementación con carbohidratos.....	9
4.3 Suplementación combinada (proteína + carbohidratos).....	10
5. Ventana anabólica.....	11
5.1 Posibles beneficios.....	11
5.2 Estudios literatura científica.....	11
5.3 Aporte pre y post entrenamiento.....	13
5.4 Diferencias según nivel de entrenamiento.....	14
5.5 Aporte de nutrientes.....	15
6. Conclusiones.....	17
7. Referencias.....	18

1. Introducción.

En las dos últimas décadas, el timing de los nutrientes ha sido un tema sobre el que se han realizado numerosos estudios e investigaciones (Aragon & Schoenfeld 2013, Atherton, 2013, Cermak, Res, de Groot, Saris, & van Loon, 2012, Koopman y col., 2007, Tipton, Ferrando, Phillips, Doyle, & Wolfe, 1999, Tipton y col., 2001, & Verdijk y col., 2009). Las bases del timing nutricional suponen el consumo de combinaciones de nutrientes (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 y facilitar la reparación del tejido dañado (Aragon & 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. 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 y col., 2007). El consumo de proteína juega un papel crucial en el mantenimiento de la proteostasis muscular y en la remodelación músculo esquelética y 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 & Schoenfeld, 2013, Cermak y col., 2012, & Esmarck y col., 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 post-ejercicio (Schoenfeld, Aragon, & Krieger, 2013). En este sentido es importante el tipo de proteína a consumir ya que Borsheim, Tipton, Wolf, & 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 y col., (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 VO₂max). Kerksick y col., (2008) exponen que conforme los niveles de glucógeno disminuyen, la intensidad del ejercicio decrece y aumenta la destrucción del tejido muscular. Estos autores destacan por tanto la importancia de la ingesta de carbohidratos pre-ejercicio con el objetivo de aumentar los depósitos de glucógeno endógenos, la ingesta durante el ejercicio para mantener los niveles de glucosa sanguínea y la ingesta post-ejercicio 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 y col., 2008). Varios estudios apoyan los beneficios de la ingesta de proteína en el periodo de peri-entrenamiento para estimular aumentos en la síntesis proteica (Atherton, 2013, Borsheim y col., 2002, Cermak y col., 2012, Koopman y col., 2007, Rasmussen, Tipton, Miller, Wolf, & Wolfe, 2000, & Tipton y col., 2001). 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 peri-entrenamiento promueve aumentos en fuerza y/o hipertrofia (Atherton, 2013), otros consideran que su consumo en este periodo no provoca efectos positivos adicionales (Schoenfeld y col., 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 & Schoenfeld, 2013). En una revisión bibliográfica, Aragon & Schoenfeld, (2013) 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 peri-entrenamiento, los estudios científicos exponen que se obtienen mayores ganancias en las adaptaciones de hipertrofia y fuerza al suprimir, mediante la secreción de insulina, la destrucción de proteína muscular (Atherton, 2013). Sin embargo Glynn y col., (2013) concluyeron que la adición de carbohidratos a la ingesta de aminoácidos esenciales no aumenta el anabolismo muscular. 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 este tema.

Por lo tanto los objetivos de esta revisión son: 1) en primer lugar determinar si hay constancia o no en la literatura científica de la existencia de una ventana anabólica de oportunidad posterior a las sesiones de entrenamiento gracias a la cual podemos mejorar las adaptaciones musculares de hipertrofia y fuerza mediante la ingesta de nutrientes durante un periodo de tiempo, 2) conocer si existe un tiempo limitado de acción de la ventana anabólica, y 3) analizar cuáles son las recomendaciones nutricionales adecuadas en los periodos cercanos a las sesiones de entrenamiento expuestas en los distintos trabajos científicos.

2. Método.

La búsqueda de artículos para este trabajo se ha llevado a cabo mediante los buscadores Pubmed (en inglés) y 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” y “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 18.000, 3) “protein supplementation”: alrededor de 38.000, 4) “carbohydrate supplementation”: alrededor de 16.000 y 5) “anabolic window”: alrededor de 70.

La búsqueda realizada en las bases de datos en castellano arroja muy pocos resultados para las palabras clave utilizadas.

Los criterios de descarte de los artículos encontrados fueron que los artículos debían tener relación directa con el entrenamiento y que 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 de descarte, y se tomaron como investigaciones principales alrededor de 15 artículos directamente relacionados con el tema de estudio.

3. Definición de términos.

Algunos de los términos más importantes a la hora de estudiar el timing de los nutrientes como son las proteínas y carbohidratos en el periodo de peri-entrenamiento son el “muscle protein synthesis”, “muscle protein breakdown” y el “net balance”. Estos términos han sido utilizados por una gran parte de artículos que tratan sobre este tema de estudio (Aragon & Schoenfeld, 2013, Atherton, 2013, Borsheim y col., 2002, Campbell y col., 2007, Cermak y col., 2012, Esmarck y col., 2001, Glynn y col., 2013, Kerksick y col., 2008, Koopman y col., 2007, Rasmussen y col., 2000, Tang, Moore, Kujbida, Tarnopolsky, & Phillips, 2009, Tipton y col., 1999, Tipton y col., 2001, & Verdijk y col., 2009).

El “muscle protein synthesis” o “síntesis de proteína muscular” está relacionado con el anabolismo muscular producido como respuesta adaptativa al

entrenamiento. Este se eleva después del entrenamiento (Atherton, 2013), con la ingesta de aminoácidos (Borsheim y col., 2002) y sobre todo, con la combinación de los dos (Campbell y col., 2007). En el extremo contrario está el “muscle protein breakdown” o “destrucción de proteína muscular” que hace referencia al catabolismo o degradación del tejido muscular que se produce durante el entrenamiento de fuerza (Campbell y col., 2007). La diferencia entre la síntesis de proteína muscular y la destrucción de proteína muscular es lo que se denomina “net balance” o “balance neto” (Atherton, 2013).

Estos artículos centrados en el estudio de la ingesta de nutrientes en el periodo de peri-entrenamiento estudian como influye el tiempo de ingesta de proteínas y carbohidratos en este periodo en relación a dos aspectos: la repleción de glucógeno y la recuperación del tejido muscular degradado durante el entrenamiento. En este sentido, el concepto de “Ventana Anabólica” (Aragon & Schoenfeld, 2013) 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. Por tanto, los beneficios de dicha ventana anabólica se dividen en dos partes: maximizar la repleción del glucógeno muscular y la recuperación del tejido muscular.

Para entender el concepto de repleción de glucógeno muscular es necesario manejar tres términos relacionados entre sí: carbohidratos, glucosa y glucógeno muscular. Químicamente, la molécula de carbohidrato está compuesta de carbono e hidrógeno. Conocidos también como glúcidos, los carbohidratos representan la principal fuente de energía para el cuerpo, que los utiliza prioritariamente una vez transformados en glucosa (Moro, 2007). La glucosa se conoce como dextrosa o azúcar sanguíneo. Es un carbohidrato sencillo, componente final de la digestión de los carbohidratos en el intestino y constituye la forma bajo la que estos se absorben en la corriente sanguínea (Moro, 2007). El glucógeno muscular es la forma en la que se almacena la glucosa sanguínea en el tejido muscular gracias a la acción de la hormona insulina (hormona segregada por el páncreas que controla el metabolismo de los carbohidratos) (Calderón, 2001) mediante una reacción llamada glucógeno-génesis (Rodríguez & Urdampilleta, 2013).

Por otro lado para entender el concepto de recuperación del tejido muscular se deben conocer los siguientes conceptos: aminoácido esencial (AAE), proteína y Valor Biológico (VB).

Los aminoácidos son los componentes de las proteínas. Las proteínas están formadas por cadenas de un gran número de combinaciones de aminoácidos, de los cuales algunos no pueden ser fabricados por el cuerpo y han de obtenerse de la dieta por lo que se los denomina esenciales (González, Sánchez, & Mataix, 2006). Las proteínas están formadas por polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos y constituyen el nutriente del cual el cuerpo deriva los materiales para la formación de sus propios tejidos y secundariamente para producir energía (González y col., 2006). En cuanto al Valor Biológico (VB) es un método por el cual se determina la eficiencia biológica de una proteína, es decir el uso que el cuerpo hace de esta (Moro, 2007).

4. Teoría sobre la suplementación post-ejercicio.

4.1 Suplementación con proteína.

En cuanto a la suplementación con proteína 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 y col., 2007, Cermak y col., 2012, Kerksick y col., 2008, & Tipton y col., 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 sólo es catabólico). Si se aportan los nutrientes adecuados post-ejercicio el balance cambia a positivo y la síntesis de proteína (MPS) pasa a ser mayor que la destrucción de proteína (MPB).

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 y col., 2002, & Schoenfeld y col., 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 y col., 2013). Así mismo, la cantidad de proteína que crea mayor anabolismo post-ejercicio 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), y en cuanto al tipo de proteína post-ejercicio 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 y col., 2009). A pesar de esto, existe controversia en este sentido ya que autores como Schoenfeld & 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 y col., 2007).

4.2 Suplementación con carbohidratos.

La suplementación con carbohidratos también ha tenido especial relevancia en la literatura científica (Atherton, 2013, Glynn y col., 2013, Kerksick y col., 2008, Koopman y col., 2007, & Tipton y col., 2001). Atendiendo a un estudio realizado por Kerksick y col., (2008), el consumo en el periodo de post-entrenamiento 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 post-ejercicio (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 y col., 2008).

4.3 Suplementación combinada (proteína + carbohidratos).

Existe la creencia de que los carbohidratos y las proteínas deberían ser ingeridas conjuntamente para maximizar la respuesta de síntesis de proteína muscular post-ejercicio (Koopman y col., 2007). Aunque la ingesta de carbohidratos por si solos parece no estimular la síntesis de proteína muscular (Borsheim y col., 2004, & Roy, Tarnopolsky, MacDougall, Fowles, & 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 y col., 2004). Sin embargo, según los estudios de Glynn y col., (2013) y Koopman y col., (2007), la adición de carbohidratos a la ingesta de proteína no aumenta el anabolismo muscular. La explicación a esto puede ser 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 post-ejercicio recomendada (mínimo 20 g) por si sola es suficiente para conseguir estos incrementos (Atherton, 2013).

A pesar de que la adición de carbohidratos a la ingesta de proteína post-ejercicio no produce mejoras en el anabolismo muscular (Glynn y col., 2013, & Koopman y col., 2007), parece ser que añadir proteínas a la ingesta de carbohidratos puede aumentar la repleción de glucógeno muscular respecto a la suplementación únicamente con carbohidratos (Kerksick y col., 2008). Según Kerksick y col., (2008) la relación adecuada de proteínas y carbohidratos para maximizar la re-síntesis de glucógeno muscular podría ser de un ratio de 3-4:1 (carbohidrato: proteína).

En la mayor parte de los estudios de investigación, 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 & Schoenfeld, 2013, Atherton, 2013, Borsheim y col., 2002, Esmarck y col., 2001, Kerksick y col., 2008, Rasmussen y col., 2000, Schoenfeld y col., 2013, Tang y col., 2009, Tipton y col., 1999, & Tipton y col., 2001) incluso alguno ha encontrado diferencias sobre el timing en función del nivel de entrenamiento (Mori, 2014).

5. Ventana anabólica

5.1 Posibles beneficios.

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 & Schoenfeld, 2013). 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 súper-compensada, mejorando tanto la composición corporal como el rendimiento deportivo (Schoenfeld y col., 2013).

5.2 Estudios literatura científica.

Sin embargo, a pesar de que la ciencia sobre el timing de los nutrientes es muy popular (kerksick y col., 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 y col., 2001, Mori, 2014 & Rasmussen y col., 2000), mientras que otros no encuentran suficiente evidencia a la hora de afirmar la existencia de dicha ventana anabólica (Aragon & Schoenfeld, 2013, Borsheim y col., 2002, Schoenfeld y col., 2013, & Verdijk y

col., 2009). Una posible explicación a la diferencia de resultados que podemos observar en la literatura científica sobre el timing de los nutrientes son los factores distractores a los que tienen que hacer frente estos 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 sobre el tema (Schoenfeld y col., 2013).

El periodo peri-entrenamiento se considera la parte más crítica del tiempo de la suplementación (Kerksick y col., 2008). Varios artículos han estudiado como afecta la adición de carbohidratos a la suplementación con proteína en este periodo (Atherton, 2013, Borsheim y col., 2002, Glynn y col., 2013, Kerksick y col., 2008, & Koopman y col., 2007). La idea inicialmente expuesta era que añadir carbohidratos a la suplementación con proteína aumentaría los beneficios debido a la respuesta de liberación de insulina y la consiguiente reducción en la destrucción de proteína muscular que esta provoca. En el artículo de Kerksick y col., (2008) donde se expone la posición de la Sociedad Internacional de la Nutrición Deportiva (International Society of Sports Nutrition) sobre el timing de los nutrientes, los autores afirman que el añadir carbohidratos a la suplementación con proteína puede aumentar aún más la síntesis proteica. Sin embargo, los estudios experimentales realizados al respecto (Borsheim y col., 2002, Glynn y col., 2013, & Koopman y col., 2002) no encontraron mayores beneficios al combinar proteínas con carbohidratos. En este sentido Atherton, (2013), en su artículo da una posible explicación al respecto ya que según afirma, una cantidad pequeña de proteína (20 gramos como mínimo) es suficiente para reducir al máximo la destrucción de proteína muscular.

Sin embargo 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 post ejercicio (diferencia entre síntesis y destrucción de proteína muscular), no podemos olvidar los beneficios que nos aporta en cuanto a la resíntesis de glucógeno muscular (Koopman y col., 2007). Además, a pesar de que la adición de carbohidratos a la ingesta de proteína no parece mejorar la respuesta muscular

(Borsheim y col., 2002, Glynn y col., 2013, & Koopman y col., 2002), se da la paradoja de que la adición de proteínas a la ingesta de carbohidratos parece aumentar la repleción de glucógeno muscular (Kerksick y col., 2008). En relación al 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.

5.3 Aporte pre y post entrenamiento.

La gran mayoría de la literatura científica sobre el timing de los nutrientes está centrada en el periodo post-entrenamiento (Aragon & Schoenfeld, 2013, Rasmussen y col., 2000, Borsheim y col., 2002, Esmarck y col., 2001, Koopman y col., 2007, Mori, 2015, Tang y col., 2009, Schoenfeld y col., 2013, & Tipton y col., 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 pre-entrenamiento (Coburn y col., 2006, Tipton y col., 2001, & White y col., 2008). Tipton y col., 2001 compararon la suplementación con aminoácidos y carbohidratos en el periodo pre-entrenamiento respecto al periodo post-entrenamiento, llegando a la conclusión de que realizar la ingesta de estos nutrientes 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 post-entrenamiento pero se mantuvo durante más tiempo en el grupo de pre-entrenamiento, 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 y col., 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 pre-entrenamiento es todavía un área que necesita mayor estudio.

5.4 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 si que hubo diferencias significativas en el balance de nitrógeno en función del tiempo de ingesta (Mori, 2014). La diferencia entre los diferentes niveles de entrenamiento puede venir explicada por la síntesis de proteína muscular que se eleva antes en los entrenados y en un periodo mas breve, mientras que en deportistas no entrenados se produce mas tarde, pero se mantiene elevada durante más tiempo (Burd, Tang, Moore, & Phillips, 2009). Esto podría explicar como el grupo de entrenados que retardó seis horas su ingesta, no obtuvo los mayores beneficios de estos nutrientes, mientras que el grupo de no entrenados, al ser capaces de mantener la síntesis de proteína muscular elevada durante mas 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.

5.5 Aporte de nutrientes.

En este apartado nos centraremos en el tipo y cantidades de nutrientes para maximizar las adaptaciones musculares de reparación del tejido muscular y de resíntesis de glucógeno. En primer lugar en cuanto a la reparación del tejido muscular los aminoácidos esenciales son los que juegan el papel más importante, mientras que los aminoácidos no esenciales tienen poca o ninguna influencia en este sentido (Schoenfeld y col., 2013). 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 post-ejercicio, reducir la degradación de proteína muscular, mejorar la resíntesis de glucógeno muscular y por consiguiente, ayudar a la recuperación del entrenamiento (Campbell y col., 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 y col., 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 y col., 2007).

La cantidad adecuada de aminoácidos esenciales post-ejercicio es de 6 a 10 gramos, siendo esta cantidad la que produce mayor síntesis de proteína muscular, y cantidades superiores parecen no producir mayores ganancias (Schoenfeld y col., 2013). La cantidad diaria recomendada de proteína es de 0,8 gramos por kilogramo de peso y día para adultos sanos físicamente inactivos (Campbell y col., 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). Sin embargo, hay una creencia errónea sobre que la ingesta de altas cantidades de proteína no es saludable y

que puede causar daño en distintos órganos corporales como el riñón y aumentar el riesgo de padecer osteoporosis (incremento de la excreción de calcio). No obstante, no hay evidencia sobre que la ingesta de proteína hasta 2 g/kg/día tenga efectos adversos en deportistas (Campbell y col., 2007).

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, y las de lenta asimilación, como por ejemplo la caseína, son más efectivas para frenar la degradación de proteína muscular (Tang y col., 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, & 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, & 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, & van Kranenburg 1987, & Tarnopolsky y col., 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, & Ross, 1987). Además, cantidades elevadas de fructosa pueden provocar problemas gastrointestinales (Kerksick y col., 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 y col., 2008).

Para la suplementación combinada de carbohidratos y proteínas, se ha establecido que el ratio adecuado entre carbohidratos y proteínas para la

suplementación alrededor del entrenamiento es de 3-4:1 (CHO: PRO) (Ivy, Res, Sprague, & Widzer, 2003, & Saunders, Kane, & Todd, 2004).

6. Conclusiones.

En primer lugar cabe destacar que la literatura científica relacionada con el timing nutricional es muy popular y por ello un área de investigación continuamente cambiante (Kerksick y col., 2008). 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 (Aragon & Schoenfeld, 2013). En cuanto al consumo de proteína varios autores (Atherton, 2013, Campbell y col., 2007, Cermak y col., 2012, Kerksick y col., 2008, & Tipton y col., 2001) 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 nutrientes en el periodo post-entrenamiento 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 post-ejercicio el balance cambia a positivo (Atherton, 2013). 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 (Borsheim y col., 2002, & Schoenfeld y col., 2013). En cuanto a la adición de carbohidratos a la ingesta de proteína post-ejercicio a pesar de que parece no producir mejoras en el anabolismo muscular (Glynn y col., 2013, & Koopman y col., 2007) añadir proteínas a la ingesta de carbohidratos podría aumentar la repleción de glucógeno muscular respecto a la suplementación únicamente con carbohidratos (Kerksick y col., 2008).

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 (Cermak y col., 2012, & Koopman y col., 2002).

Respecto al tiempo de ingesta, el periodo de pre-entrenamiento podría ser también importante para la suplementación con proteínas y carbohidratos (Tipton y col., 2001) y la proximidad de la suplementación al ejercicio parece ser mas importante en sujetos entrenados que en no entrenados (Mori, 2014).

A modo de conclusión sobre la ingesta de proteínas y carbohidratos en el periodo de peri-entrenamiento podemos decir que los estudios analizados presentan encontrar resultados dispares y contradictorios sobre el timing de los nutrientes de tal manera que mientras que algunas investigaciones han encontrado mejores efectos mediante la suplementación con proteína y carbohidratos realizados en proximidad al ejercicio (Atherton, 2013, Esmarck y col., 2001, Mori, 2014, & Rasmussen y col., 2000), otros, no encuentran suficiente evidencia a la hora de afirmar la existencia de dicha ventana anabólica (Aragon & Schoenfeld, 2013, Borsheim y col., 2002, Schoenfeld y col., 2013, & Verdijk y col., 2009). En este sentido, resulta complicado determinar un tiempo limitado de duración de la ventana anabólica ya que 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 que habría que tener en cuenta para establecer las bases de la suplementación en el periodo alrededor del entrenamiento (Schoenfeld y col., 2013).

7. Referencias.

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. (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

Barbany, J.R. (2002). *Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento*.

Barcelona: Paidotribo.

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), E648-E657.

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.

Calderón, F.J. (2001). *Fisiología aplicada al Deporte*. Madrid, España: Tébar.

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.

Coburn, J. W., Housh, D. J., Housh, T. J., Malek, M. H., Beck, T. W., Cramer, J. T., & Donlin, P. E. (2006). Effects of leucine and whey protein supplementation during eight weeks of unilateral resistance training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(2), 284-291.

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.

Egan, B., & Zierath, J. R. (2013). Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. *Cell metabolism*, 17(2), 162-184.

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.

Gonzalez, J., Sánchez, P., Mataix, J. (2006). *Nutrición en el deporte. Ayudas ergogénicas y dopaje*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.

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.
doi:10.3945/jn.112.168203.

Ivy, J. L. (1998). Glycogen resynthesis after exercise: effect of carbohydrate intake. *International journal of sports medicine*, 19, S142-5.

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

- 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.
- Porta, J., de Viñaspre García, P. L., & Morera, F. C. (1996). El entrenamiento de la fuerza en los deportes de equipo. *Apunts: Educación física y deportes*, (43), 55-62.
- 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.
- Rodríguez, V.M. y Urdampilleta, A. (2013). *Nutrición y dietética para la actividad física y el deporte*. La Coruña, España: Gesbiblo.

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.

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 (Bethesda, Md. : 1985)*, 107(3), 987–992. doi:10.1152/jappphysiol.00076.2009

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), E628-E634.

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), E197-E206.

Tipton, K. D., Elliott, T. A., Cree, M. G., Wolf, S. E., Sanford, A. P., & Wolfe, R. R. (2004). Ingestion of casein and whey proteins result in muscle anabolism after resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 2073-2081.

Urdampilleta, A., Sánchez, S., Martínez, J.M. (2013). Fisiología del esfuerzo: análisis de los factores limitantes y propuesta práctica para la planificación nutricional para la maratón. *EFDeportes.com, Revista Digital*. Buenos Aires, 186, Noviembre de 2013.
<http://www.efdeportes.com/efd186/los-factores-limitantes-para-la-maraton.htm>

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.

Vílchez, M. P., & López, M. G. (2010). Efectos de la ingesta de diferentes concentraciones de carbohidratos en el rendimiento en cicloergómetro: estudio preliminar. *Espiral. Cuadernos del profesorado*, 3(5), 6.

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.