



# MÓDULO 03

**METABOLISMO MUSCULAR**



## Tipos de combustibles musculares

### - Hidratos de carbono (CHO)

#### ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

La capacidad para almacenar energía en el cuerpo en forma de hidratos de carbono es limitada (500 g). El glucógeno es la principal fuente de energía en los ejercicios de moderada a alta intensidad. Dependiendo de su estructura molecular, los hidratos de carbono se clasifican en simples y complejos:

#### Simples:

- Monosacáridos (formados por una molécula de azúcar como la glucosa, fructosa o galactosa).
- Disacáridos (compuestos por 2 monosacáridos): Sacarosa (glucosa + fructosa).
- Lactosa (glucosa + galactosa).
- Maltosa (glucosa + glucosa).

**Complejos o polisacáridos:** Almidón y fibra, se encuentran en alimentos como patatas, pasta, arroz y vegetales. Compuestos por miles de unidades de glucosa.

#### ÍNDICE GLUCÉMICO

El índice glucémico es una escala que muestra la capacidad que tienen diferentes CHO para aumentar los niveles de glucosa en sangre. Los alimentos se clasifican según su índice glucémico en:

Bajo (menos de 55)

Medio (56 a 69)

Alto (más de 70)

El índice glucémico de los alimentos ingeridos por el deportista condicionará su respuesta al ejercicio y actividad física. Estudios sugieren que ingerir alimentos de bajo índice glucémico en las horas previas al ejercicio es beneficioso para la actividad física, ya que se genera una menor respuesta de la insulina y por tanto existirá una mayor oxidación de ácidos grasos durante el ejercicio, lo que hará que el uso de los almacenamientos de glucógeno muscular se distribuya de forma más equitativa a lo largo de toda la actividad física y no se terminen tan rápidamente.

Por otro lado, se recomienda ingerir alimentos de alto índice glucémico post competición, para maximizar la recuperación de los depósitos de glucógeno muscular y facilitar la recuperación tras el ejercicio.

Los requerimientos diarios de CHO deben ajustarse a las necesidades energéticas del deporte y carga de entrenamiento específicos para asegurar una adecuada disponibilidad de CHO para las sesiones de entrenamiento. Éstos se expresan en g/kg de la masa corporal del atleta.

## - Proteínas

Las proteínas son esenciales para la vida y tienen diversas funciones. El cuerpo contiene proteínas estructurales (queratinas), contráctiles (actina y miosina), inmunoproteínas (anticuerpos) y reguladoras (enzimas). El hecho de que tengan diversas funciones se debe a las diferentes estructuras proteicas. Las proteínas están formadas por aminoácidos que se organizan en un orden específico. Los aminoácidos se clasifican en esenciales y no esenciales. La diferencia es que los primeros se deben consumir en la dieta y los segundos son sintetizados por el organismo.

Actualmente existe un debate sobre cuánta es la ingesta proteica adecuada en deportistas. Los suplementos de proteínas son los más consumidos actualmente por deportistas, sin embargo existen estudios cuestionando si son necesarios. Algunos investigadores sugieren que éstos no son necesarios mientras que otros estudios exponen que los deportistas requieren mayores niveles de ingesta proteica que los individuos sedentarios. También se debate que, incluso si los deportistas requieren una mayor ingesta proteica, esta se puede adquirir a través de una dieta específica o si esta sólo se puede alcanzar de forma óptima a través de suplementos. Otro motivo de investigación ha sido que diferentes disciplinas deportivas requieren diferentes niveles de ingesta de proteínas. Recientemente se ha aceptado que los atletas efectivamente necesitan un mayor aporte proteico que los individuos sedentarios, sugiriendo ingestas de 1,2 a 1,4 g/kg para atletas en pruebas de resistencia y 1,8 a 2 g/kg para atletas de fuerza y potencia. Estos valores de referencia se deben analizar de forma conjunta con las metas del entrenamiento propuesto, así como teniendo en cuenta que todos los deportes incluyen, en mayor o menor medida, componentes de fuerza, potencia y resistencia.

Se recomienda consumir alimentos proteicos con el desayuno previamente a la sesión de entrenamiento, y aproximadamente de 20 a 25 g. También se recomienda la ingesta de alimentos proteicos después del ejercicio, de nuevo, de 20 a 25 g. se recomienda consumir proteína de suero de leche tras el ejercicio en vez de caseína o soja para aumentar las tasas de síntesis de proteína muscular.

## - Grasas

Históricamente se ha visto a las grasas como un elemento negativo en la dieta deportiva, y muchos atletas han evitado o reducido la ingesta de grasas durante sus entrenamientos. En la última década diferentes artículos han retado ese concepto de que las grasas te hacen gordo o incluso que todas las grasas saturadas son necesariamente perjudiciales para el organismo. En general, un consumo excesivo o precario de grasas es negativo para el desempeño deportivo. El cuerpo necesita un buen aporte de ácidos grasos esenciales (omega3 y 6) así como de las vitaminas liposolubles, vitamina A, D, E y K. Las grasas son necesarias durante la actividad física como almacenamiento de energía, especialmente cuando los depósitos de hidratos de carbono se agotan, lo que sucede en los ejercicios que duran más de 90 minutos.

Las grasas se clasifican en saturadas e insaturadas. Tradicionalmente, las grasas saturadas se han considerado malas para la salud, mientras que las grasas insaturadas se han clasificado como buenas para el

organismo, debido a los efectos positivos que ejercen en la composición corporal y sus funciones cardiovasculares. Otro tipo de grasas son los ácidos grasos esenciales. Similar a lo que sucedía con los aminoácidos esenciales, el cuerpo no puede fabricar sus propios ácidos grasos esenciales y éstos necesitan ser incorporados a través de la dieta. Se ha sugerido que la mayor parte de la población no ingiere suficientes ácidos grasos insaturados, probablemente por la falta de guías publicadas y por la concepción errónea de que todas las grasas son negativas para el organismo. Estudios sugieren que reemplazar las grasas saturadas por hidratos de carbono refinados como las bebidas azucaradas, pan blanco y puré de patatas, tiene un impacto negativo en nuestro organismo. El motivo es que esto reduce los niveles de HDL (“colesterol bueno”) lo que aumentará los triglicéridos y grasa corporal. Por otro lado, sustituir grasas saturadas por las insaturadas, incluyendo alimentos como el salmón, aguacate, semillas, ha demostrado tener efectos positivos en la salud.

En resumen, los atletas no deberían obsesionarse con eliminar las grasas completamente de su dieta, aunque se beneficiarían de reducir la ingesta de carnes altamente procesadas y eliminar las grasas trans. Si se reducen las grasas saturadas en la dieta, deberían ser reemplazadas por grasas insaturadas en vez de hidratos de carbono refinados. Las grasas proporcionan más calorías que los hidratos de carbono y proteínas, por lo que son útiles en pruebas deportivas de más de 90 minutos, pero no deben consumirse en exceso, ya que si no podrían llevar al aumento de peso. Los ácidos grasos esenciales (omega 3 y 6) deben ser consumidos en la dieta. Es muy probable que un alto porcentaje de atletas no consuman suficiente omega 3 en su dieta, por lo que 3 porciones de pescado deberían ser consumidas por semana, una de ellas siendo una versión aceitosa, como salmón o atún.

## Hidratación

El mecanismo biológico más importante para perder calor durante el ejercicio consiste en la evaporación del sudor. Los niveles de sudor dependen de los requerimientos energéticos e la actividad deportiva, género, edad, entrenamiento y aclimatación al medio, así como a los niveles de hidratación durante el ejercicio. La deshidratación produce descenso de la performance física y mental, así como sobreesfuerzo cardíaco y cerebral e incremento del uso del glucógeno. La deshidratación que causa más del 2% de pérdida de masa corporal dificulta la actividad física y mental.

Métodos para asesorar la hidratación del atleta incluyen la osmolaridad urinaria (menos de 700 mOsm/kg indica niveles normales de hidratación) y color (amarillo pálido indica colores normales de hidratación). Los atletas deben intentar consumir de 5 a 7 ml/kg de fluidos de 3 a 4 horas previas al ejercicio. Se recomienda que se pesen antes y después del ejercicio para asegurar que no han perdido más del 2% de masa corporal. Es importante que los atletas no beban un sobreexceso de agua para aumentar el peso ya que la intoxicación por exceso de agua puede producir la muerte. Las bebidas frías actúan mejor como termorreguladoras durante el ejercicio, y las bebidas deportivas son mejores que el agua, ya que contienen hidratos de carbono adicionales y electrolitos. Para la fase de rehidratación después del ejercicio se recomienda beber 1,5 L de fluido por kg de masa corporal perdida durante el ejercicio.

## Micronutrientes

Son sustancias de las que se requieren menos de un gramo para mantener los niveles fisiológicos normales. Entre ellos se encuentran la vitamina D, diferentes minerales y antioxidantes. Los atletas deben mantener una ingesta adecuada de éstos a través de su dieta, incluyendo cinco porciones de frutas y verduras variados. La exposición al sol moderada y segura asegurará los niveles óptimos de vitamina D. Atletas que necesiten eliminar cualquier grupo particular de alimentos por razones de salud, deberán conversar con sus nutricionistas sobre la necesidad de incluir o no suplementos para suplir estas deficiencias.

## Los sistemas de energía

### I. ATP PCr

Las células almacenan una pequeña parte de adenosin trifosfato (ATP) y fosfocreatina (PCr). En este proceso la fosfocreatina dona una molécula de fósforo para que el ADP (adenosin difosfato) se convierta en ATP (adenosin trifosfato). Los pequeños almacenamiento de ATP que existen en la célula se usan como energía, mientras el ATP formado a través de la PCr se utiliza para mantener niveles constantes de ATP cuando el cuerpo se encuentra en reposo.

La liberación de energía de la PCr se cataliza gracias a la enzima creatina quinasa, que separa el fósforo de la creatina. La energía liberada se usa para añadir una molécula de fósforo a una molécula de ADP, formando ATP. Al liberarse la energía del ATP al romperse el fósforo, las células pueden prevenir la falta de ATP rompiendo la PCr, generando energía y que el fósforo reconstruya ATP a partir del ADP.

La actividad de la creatina quinasa es promovida por las altas concentraciones de ADP o fósforo, y es inhibida por altas concentraciones de ATP. Cuando se inicia un ejercicio intenso, la pequeña proporción de ATP disponible en las células musculares se rompe para conseguir energía inmediatamente, dando lugar a ADP y fósforo. El incremento en la concentración de ADP hace que la creatina quinasa empiece a funcionar catabolizando la PCr para generar más ATP.

Durante los primeros segundos de actividad muscular intensa, como en un sprint, el ATP se mantiene a un nivel constante, mientras que los niveles de PCr decrecen ligeramente, ya que ésta se usa para formar más ATP. Cuando se llega al punto de fatiga, ambos niveles serán bajos e incapaces de proporcionar suficiente energía para la contracción y relajación muscular. Esto significa que la capacidad de generar energía a través del sistema ATP PCr es limitada de 3 a 15 segundos en actividades de alta intensidad.

### II. Sistema glucolítico

Supone la ruptura de la glucosa (glucólisis) a través de las enzimas glucolíticas. Este sistema es más complejo que el ATP PCr, y consiste en que la glucosa y el glucógeno (glucosa almacenada en el

músculo) se rompen gracias a las enzimas glucolíticas para dar lugar al ácido pirúvico. Cuando esto sucede sin la presencia de oxígeno, el ácido pirúvico se convertirá en ácido láctico. Un mol de glucosa genera 2 moles de ATP, mientras que 1 mol de glucógeno, origina 3 moles de ATP. Tanto el sistema glucolítico como el sistema ATP PCr contribuyen a las actividades que necesitan momentos de hasta 2 minutos de energía explosiva así como a los minutos iniciales de actividades de alta intensidad más prolongadas en el tiempo.

### III. Sistema oxidativo

El sistema oxidativo sucede en la mitocondria, dentro de la célula, gracias a la presencia de oxígeno. En los músculos, las mitocondrias son adyacentes a las miofibrillas y se encuentran también a lo largo del sarcoplasma. El sistema oxidativo produce energía para las actividades que se desarrollan en periodos más largos de tiempo. El sistema oxidativo tarda más tiempo en activarse que los otros 2 sistemas que hemos estudiado, pero por el contrario tiene capacidad para proporcionar energía de manera más prolongada en el tiempo, lo que lo hace el sistema energético prioritario en pruebas de resistencia. El sistema oxidativo produce energía a través de los hidratos de carbono o de las grasas.

La oxidación de hidratos de carbono incluye glucólisis, el ciclo de Krebs, y la cadena transportadora de electrones. El resultado de estas reacciones es agua, dióxido de carbono y 32 o 33 moléculas de ATP por cada molécula de hidratos de carbono.

La oxidación de las grasas empieza con una beta oxidación de los ácidos grasos libres y luego sigue el mismo camino que la oxidación de hidratos de carbono: la acetilcolina acaba en el ciclo de Krebs y la cadena transportadora de electrones. La energía liberada por cada molécula de grasa liberada es mucho más alta que la liberada por los hidratos de carbono. Sin embargo, aunque las grasas aportan más kilocalorías de energía por gramo que los hidratos de carbono, la oxidación de las grasas requiere más oxígeno que la oxidación de los hidratos de carbono. El oxígeno transportado es limitado, así que los hidratos de carbono son el tipo de combustible preferido durante ejercicios de alta intensidad.

La oxidación de proteínas es compleja porque los aminoácidos contienen nitrógeno, que no puede ser oxidado. Las proteínas contribuyen relativamente poco a la producción de energía (5 a 10%). La capacidad oxidativa de un músculo viene determinada por su número de mitocondrias y la cantidad de enzimas oxidativas presentes, mientras que el metabolismo oxidativo depende de un aporte adecuado de oxígeno.

## **Bibliografía**

- Jeffreys, I. and Mood, J., 2016. Strength And Conditioning For Sports Performance. London: Routledge.
- Kenney, W., Costill, D. and Wilmore, J., 2020. Physiology Of Sport And Exercise. Champaign, Il: Human Kinetics.
- Stellingwerff, T. and Cox, G., 2014. Systematic review: Carbohydrate supplementation on exercise performance or capacity of varying durations. Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism, 39(9), pp.998-1011.