

Combustibles utilizados durante la actividad física

Luis Carlos Burgos Herrera, MD, MSc.

Profesor Departamento de Fisiología y Bioquímica,

Facultad de Medicina

Universidad de Antioquia

Introducción

Para sostener la organización biológica se requiere un gasto continuo de energía. Los sistemas vivientes utilizan energía química, o sea, la energía contenida en los enlaces moleculares. El contenido de energía química de una sustancia depende de la estructura de la molécula, y del número total de moléculas presentes, es decir, de la concentración.

La primera ley de la termodinámica dice que la energía no se puede crear ni destruir, solo se pueden realizar transformaciones de unas formas de energía en otras; lo que significa que los seres vivos deben estar conectados a alguna fuente energética externa que suministre la chispa vital. Los organismos que captan la energía en forma de moléculas combustibles se llaman heterótrofos y los que captan directamente la radiación electromagnética se llaman autótrofos o fotosintéticos. Aquí solo hablaremos de los primeros ya que la fotosíntesis se desarrolla en otro capítulo.

Los heterótrofos continuamente están oxidando los combustibles y de esta forma obtienen la energía para mantener su integridad. Dentro de este flujo de energía la molécula adenosín trifosfato (ATP) constituye "la moneda energética" de la célula, ya que con ella se sostienen casi todos los procesos celulares. Debido a que el gasto energético es continuo y la ingesta de combustibles es intermitente, los

sistemas vivos cuentan con depósitos de combustibles, en forma de glucógeno y de triglicéridos, que mantienen el gasto energético durante los períodos de ayuno.

Sistema de los nucleótidos de adenina

El metabolismo celular está diseñado de tal manera que la energía química no fluye directamente desde los procesos generadores hasta los procesos consumidores de esta energía, entre unos y otros se interpone un sistema de conexión llamado sistema de los nucleótidos de adenina. Este sistema consta de tres sustancias: el adenosín monofosfato (AMP), el adenosín difosfato (ADP) y el ATP, las cuales se relacionan entre sí de acuerdo con la siguiente fórmula:

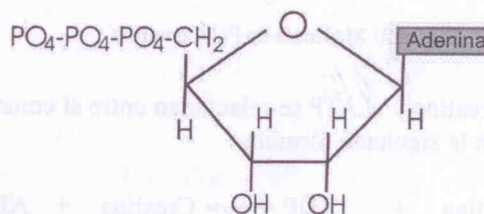


Figura 1 Molécula de ATP

La molécula clave de esta transferencia de energía química es el ATP, cuya estructura se muestra en la figura 1. Los dos últimos grupos fosfato están unidos por enlace fosfoanhídrido que almacenan gran cantidad de energía útil. El ATP se sintetiza con la energía liberada de la oxidación de los combustibles.

La concentración celular de ATP es muy baja, sólo de 5 a 7 milimoles por gramo de tejido fresco; esta baja concentración sugiere que el ATP no se puede considerar como un “depósito” de gran capacidad, sino más bien, como un sistema de transferencia de energía útil, cuya eficiencia se logra por el elevado recambio de la molécula. Esta baja concentración se mantiene más o menos constante, incluso cuando se producen grandes variaciones en la intensidad de la demanda. Esta constancia en la concentración se llama **estado estacionario** y está indicando una gran capacidad de ajuste del flujo energético celular. El estado estacionario implica que el recambio del ATP es un proceso muy dinámico; la célula debe sintetizar e hidrolizar la molécula miles de veces en un minuto. ¿Cómo se logra sostener el alto recambio de la molécula de ATP? A partir de los llamados sistemas formadores de ATP, que son tres:

1. El sistema de los fosfágenos.
2. El sistema glicolítico/glicogenolítico anaeróbico.
3. El sistema aeróbico de oxidación de combustibles.

Sistema de los fosfágenos

Un fosfágeno es una molécula que actúa como reservorio intracelular de fosfatos macroérgicos. Estas sustancias son compuestos guanidínicos fosforilados, es decir, presentan el grupo fosfato unido directamente a un átomo de nitrógeno por medio de un enlace de alto contenido energético. Este grupo fosfato puede ser transferido directamente al ADP. Los dos fosfágenos más importantes son la fosfoarginina, presente en los insectos, y la fosfocreatina, hallada en las células de los vertebrados, (ver figura 2).

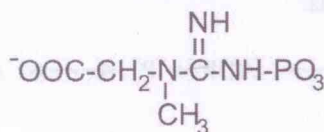


Figura 2 Molécula de Fosfocreatina

La fosfocreatina y el ATP se relacionan entre sí como se muestra en la siguiente fórmula



Esta reacción está catalizada por la enzima creatina fosfoquinasa (CPK) y, en las condiciones intracelulares,

es una reacción cercana al equilibrio químico, lo que significa que es bidireccional: la CPK puede catalizar tanto la reacción directa como la reacción inversa. La cercanía al equilibrio implica que la reacción es muy sensible a los cambios en la concentración de reactivos y productos; cualquier pequeña modificación en la concentración de alguno de los reactivos o productos, desplaza momentáneamente la reacción del equilibrio, predominando uno de los dos sentidos sobre el otro, y este predominio se mantendrá hasta que se alcance un nuevo equilibrio. Esto es lo que en química se llama el principio de Le Chatelier.

El sistema funciona de la siguiente manera: cuando se inicia la contracción muscular empieza a disminuir la concentración de ATP en la célula, esta disminución perturba el equilibrio y la reacción se desplaza temporalmente de izquierda a derecha para compensar la pérdida. El resultado de este desplazamiento es que, parte de la fosfocreatina se convierte en creatina, y la enzima transfiere directamente el grupo fosfato al ADP, sintetizando ATP. En el momento en que se aumente de nuevo la concentración de ATP en la célula muscular, a partir de otros sistemas formadores, la reacción se desplazará en sentido contrario y la concentración de fosfocreatina se restituye a su valor normal, a expensas del mismo ATP. Este comportamiento de la reacción permite hacer ajustes ultrarrápidos, sin embargo, es un sistema de muy baja capacidad ya que la concentración de fosfocreatina en la célula muscular es muy baja, sólo 3 o 4 veces mayor que la concentración de ATP. Se estima que la reserva de fosfocreatina disminuye marcadamente después de los primeros 10 o 15 segundos de esfuerzo máximo. La utilización de la fosfocreatina no depende de la presencia de oxígeno y tampoco produce lactato, por eso se llama la fase anaeróbica alactácida.

Sí el ejercicio se prolonga y la demanda energética continúa, la reserva de fosfocreatina disminuye y la célula muscular empieza a acumular ADP y AMP; sustancias que, al actuar como efectores alostéricos de ciertas enzimas, incrementan la utilización de los otros sustratos energéticos.

Sistema de la glicolisis/glicogenolisis anaeróbica

Las células captan glucosa de la sangre en forma continua a través de proteínas transportadoras ubicadas en la membrana celular conocidas como GLUT. El músculo posee el transportador GLUT 4 que tiene una alta afinidad por la glucosa y funciona por difusión facilitada, es decir, que solo actúa a favor de gradiente, no es