PubliCE, (PubliCE) 2000

Monograph

Sistemas Energéticos

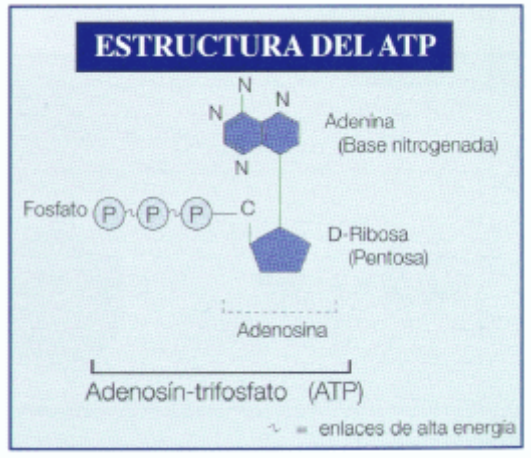
Lic. Gustavo Metral[1]

[1]*Grupo Sobre Entrenamiento. Grupo de Recursos sobre Ciencias del Ejercicio.*

Palabras Clave: anaeróbico aláctico, anaeróbico láctico, oxidativo, pc atp, atp, energía

ATP (ADENOSÍN TRIFOSFATO)

El ATP (adenosín-trifosfato) es la única forma utilizable de energía para la contracción muscular. La misma es una molécula conformada por una base nitrogenada (adenina), un monosacárido de cinco carbonos, la pentosa y tres fosfatos.



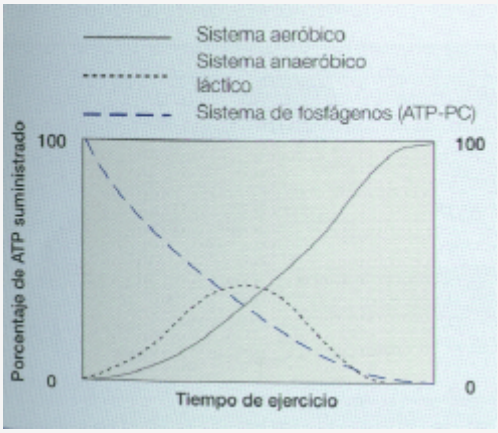
Debido a que la concentración de ATP en el organismo humano es muy escasa (5x10-6mol.g-1), solo alcanza aproximadamente para 0.5 segundos de contracción muscular intensa, debido a ello se hace indispensable la existencia de diferentes sistemas energéticos que se encarguen de realizar la restitución del ATP para prolongar la actividad muscular. Los tres sistemas energéticos existentes son: **a) Sistema Anaeróbico Aláctico, b) Sistema Anaeróbico Láctico y c) Sistema Aeróbico.**

FUNCIONAMIENTO DE LOS SISTEMAS ENERGÉTICOS

Los tres sistemas energéticos funcionan como un continuom energético. Se puede definir a éste como la capacidad que posee el organismo de mantener simultáneamente activos a los tres sistemas energéticos en todo momento, pero

otorgándole una predominancia a uno de ellos sobre el resto de acuerdo a :

1. Duración del Ejercicio.
2. Intensidad de la Contracción Muscular.
3. Cantidad de Substratos Almacenados.

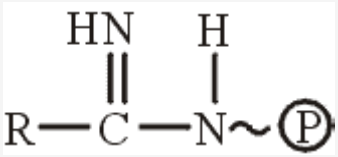


Por lo tanto debe quedar claro que los sistemas energéticos distan mucho de funcionar como compartimentos aislados sin relación entre ellos. Sino que los mismos se encuentran funcionando en una continua interacción, por lo tanto debe hablarse siempre de una predominancia de un sistema energético sobre el resto y nunca de una exclusividad en la vía del aporte de energía para la realización de una determinada actividad física.

SISTEMA ANAERÓBICO ALÁCTICO

Una de las principales consideraciones respecto a este sistema energético radica en una notable característica que es su alto grado de localización el cual está otorgado por su combustible la PCr que se encuentra reservada específica y únicamente dentro de las fibras musculares. Esto significa que el mismo solo se estimula con el trabajo particular de cada músculo y que la mejoría de este no provocará cambios en otros músculos no involucrados en la contracción.

La PCr está constituida por un aminoácido que es la creatina unida por un enlace de alta energía de 10 Kcal. a un fósforo.

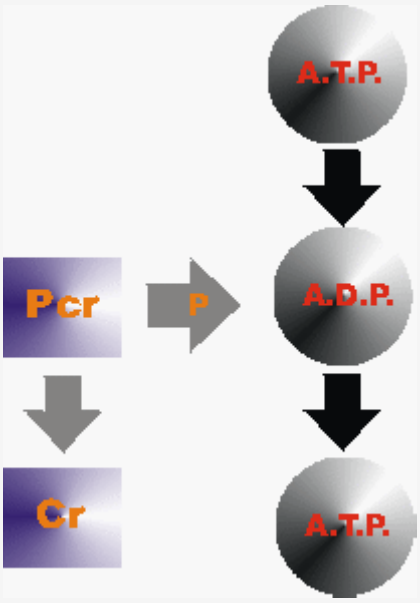


Este aminoácido puede ingerirse normalmente en la dieta en pequeñas cantidades a través de la ingesta de carnes y pescados, o sintetizarse endógenamente a través de diferentes aminoácidos precursores que son arginina, glicina y metionina en hígado riñón y páncreas (Kreider 98). La concentración de PCr en la fibra muscular esquelética es de 3 a 5 veces superior a la concentración de ATP (15x10-6.g-1 de músculo).

REACCIÓN ENZIMÁTICA

Una vez que comienza la ruptura del ATP para la producción de energía mecánica (recordemos que solo dura hasta 0.5

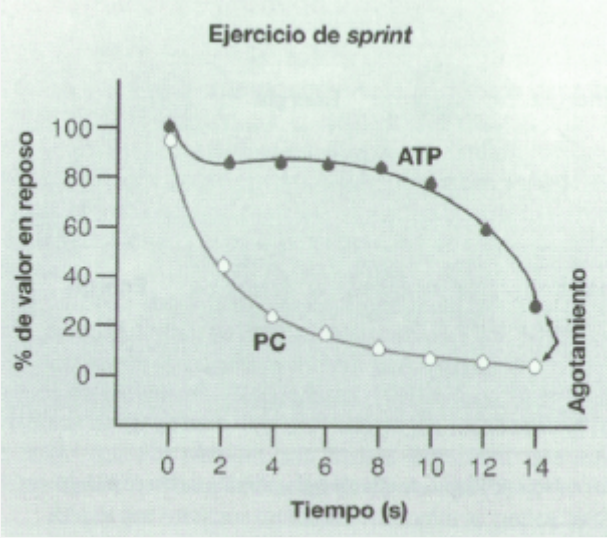
segundos de contracción muscular intensa), la fosforilación de este substrato es producida principalmente por la PCr, en la cual el enlace de alta energía es destruida por la acción de la creatinkinasa separando por un lado a la creatina y por otro al fósforo. La energía química contenida en el enlace de alta energía es liberada al medio para producir la unión del fósforo de la fosfocreatina al ADP para la nueva obtención de ATP.



DINÁMICA DE LA RESTITUCIÓN DEL ATP A PARTIR DE LA PCr

En ejercicios de muy alta intensidad el sistema PC-ATP es el que más rápido produce la fosforilación del ATP esto es debido a que la PCr es almacenada en el citosol muy próxima a los sitios de utilización de la ENERGÍA, y por que la hidrólisis de la PCr producida por la creatinkinasa es rápidamente activada por la acumulación ADP y nos es necesario la realización de varias reacciones enzimáticas (nada más que una) antes que la energía sea transferida para abastecer la restitución del ATP. Por otra parte un factor inhibidor de esta enzima es el descenso del pH el cual puede ser causado por una acumulación creciente ácido láctico.

En la siguiente gráfica tomada de Willmore (97) se puede observar como varían las concentraciones de ATP y PCr durante un periodo de contracción muscular intensa. Lo interesante a notar es que más allá de que las concentraciones de PCr lleguen a niveles realmente bajos la concentración de ATP se mantiene todavía muy alta, cuando la concentración de PCr ha caído a un 10% de su contenido inicial, la concentración de ATP es del 90% aproximadamente (Chicharro-Vaquero 98).



Otra cuestión interesante a notar es que ya a los cuatro segundos de trabajo muscular la PCr se ha depletado en un 80%.

CAPACIDAD DEL SISTEMA

La posibilidad de mantener un alto grado de fosforilación del ADP a partir del sistema de la fosfocreatina dura un periodo de tiempo que es muy corto, aproximadamente entre 8 y 10 segundos, tiempo en el cual este sistema de energía predomina sobre los otros dos en la vía del aporte energético. Esto se debe a que llegando a los 8-10" de contracción intensa las reservas de PCr quedan prácticamente deplecionadas y a que no existe la posibilidad de restitución de PCr durante la actividad muscular, ya que ésta se realiza en la pausa.

RESÍNTESIS DE FOSFOCREATINA

Para la realización de la resíntesis de la PCr también es necesaria la provisión de energía aportada por el ATP la cual es sostenida por los otros dos sistemas de energía, el sistema anaeróbico láctico, pero principalmente el sistema aeróbico. Con respecto a esto último se ha comprobado en corredores de resistencia un acortamiento del tiempo de resíntesis de PCr, reflejando una mejor capacidad oxidativa de sus músculos (Chicharro -Vaquero 98). En general existe una correlación significativa entre el tiempo de resíntesis de PCr y el VO2 máximo. Esto último jerarquiza la importancia que posee el entrenamiento aeróbico dentro de los deportes dónde los gestos explosivos de carácter intermitente son determinantes para la performance deportiva (fútbol, basquet, rugby, etc.).

En la siguiente tabla se muestran los diferentes porcentajes de restitución de PCr en distintos tiempos de pausa. Como puede observarse en los primeros 30" de la misma se restituye el 50% de la PCr, ésta es la llamada fase rápida de restitución de PCr, y en los próximos 2 min. 30 seg. se restituye un 48% de que forman parte de la fase lenta.

Tiempo	% de Restitución de PCr
30 segundos	50 %
60 segundos	75%
90 segundos	87%
120 segundos	93%
150 segundos	97%
180 segundos	98%

CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS ACERCA DE LA ESTIMULACIÓN DEL SISTEMA PC-ATP

A continuación se exponen diferentes pautas metodológicas, a tener en cuenta a la hora de entrenar sobre gestos deportivos explosivos que demanden una alta actividad de los fosfágenos.

a) Que las intensidades de trabajo sean máximas o supramáximas, debido a la estimulación neuromuscular y por el reclutamiento masivo de fibras de carácter explosivo.

b) Considerando que éste es un sistema energético local, los incrementos en los niveles de PCr y enzimas ocurrirían principalmente en las fibras musculares estimuladas, por lo tanto se deben ejecutar ejercitaciones lo más parecidas posibles a los gestos competitivos específicos, dentro de éste punto es pertinente tener en cuenta que también existen adaptaciones neurales positivas que ayudan para el incremento de la potencia, fuerza y velocidad.

c) Que el sistema muscular se encuentre bien entrado en calor pero sin ningún tipo de fatiga previa, por lo tanto se aconseja realizar los entrenamientos de tipo explosivos después de la entrada en calor y antes de cualquier tipo de estímulo, sean éstos lácticos, aeróbicos, técnicos, tácticos, etc.

d) Que los estímulos sean alácticos debido a que cuando se incrementan las concentraciones de ácido láctico se producen disminuciones en el pH que inhiben la acción de la creatin-fosfo-kinasa. El ácido láctico también produce una inhibición de las fibras musculares explosivas y descoordinación con la consiguiente alteración de la técnica deportiva.

Para evitar la acumulación de ácido láctico mencionada en el último punto se debe tener en cuenta la densidad del estímulo, la cual está constituida por la duración del ejercicio, que no debe ser mayor a los 8-10" de duración debido a que sobrepasando éstos tiempos las reservas de PCr son casi nulas y se activa notablemente la glucólisis anaeróbica. Y segundo por la pausa del ejercicio que debe garantizar la suficiente restitución de PCr, para comenzar nuevamente el trabajo, de lo contrario en la próxima serie se incrementaría la concentración de ácido láctico.

A continuación se exponen una serie de ejemplos prácticos sobre diversos estímulos de entrenamiento de velocidad y potencia muscular.

1) **Velocidad de Reacción**

Ejercicios que se ejecutan a muy alta velocidad, a partir de diversos estímulos (visuales, auditivos, táctiles, etc.). La duración del trabajo posterior al estímulo debe ser sumamente breve menor a 2" de duración y altamente explosiva. Los estímulos pueden ser distribuidos en 3 series de 4 repeticiones con una micropausa de 20 a 30 segundos, y la duración de la pausa entre series de 1 minuto, tiempo que puede ser utilizado para la explicación de la próxima ejercitación.

2) **Velocidad de Aceleración**

Pasadas de velocidad a máxima intensidad de entre 10 y 30 metros. Por supuesto que la selección de la distancia va a variar según la especialidad deportiva en cuestión.

EJEMPLOS

2 series de 4 repeticiones x 10-15 mts.	micropausa: 30"	Macropausa: 2 min.
2 series de 4 repeticiones x 15-20 mts.	micropausa: 45"	Macropausa: 2 min. 30 seg.
2 series de 4 repeticiones x 20-30 mts.	micropausa: 1 min.	Macropausa: 3 min.

3) **Velocidad Lanzada**

En éste tipo de estimulación se deberían utilizar distancias de trabajo que se aproximen a un rango de entre 30 y 60 mts.

EJEMPLOS

2 series de 4 repeticiones x 30-45 mts. micropausa: 1 min. 15 seg. Macropausa: 3 min.

2 series de 4 repeticiones x 45-60 mts. micropausa: 1min. 30 seg. Macropausa: 3 min.

4) **Pliometría**

Saltos Bipodales con la utilización de vallas. Se colocan tantas vallas como saltos entren en seis segundos.

EJEMPLO

3 series de 5 repeticiones micropausa: 1 min. Macropausa: 3 min.

Saltos Unipodales con obstáculos bajos a modo de saltos triples y quíntuples buscando un tiempo de trabajo de 6".

EJEMPLO

4 series de 6 repeticiones micropausa: 45"-1 min. Macropausa: 3 min.

Los ejemplos anteriormente citados tienen por objetivo brindar solo un marco de referencia acerca de la estimulación del sistema anaeróbico aláctico, por supuesto que los volúmenes, la distancias, las pausas de trabajo y las ejercitaciones deben adaptarse a diferentes modalidades deportivas. Por ejemplo seria excesivo utilizar distancias superiores a los 10 mts. para estimular la velocidad de aceleración en el voley, sin embargo la utilización de distancias entre 15 a 25 mts son totalmente habituales en fútbol. Con respecto a la elección de la pausa de recuperación entre estímulos el Licenciado Norberto Alarcón recomienda que para las micropausas se multiplique el tiempo de trabajo por 10 o 15 y que para la elección de la macropausa se multiplique la duración de la micropausa por 2 o 3, de esta manera puede mantenerse una óptima densidad del estímulo, lo cual garantiza una excelente estimulación del sistema PC-ATP evitando la aparición de ácido láctico.

REFERENCIAS

1. Blanco, Antonio (1992). Química Biológica. *6º edición. Editorial El Ateneo*
2. Guyton, Arthur (1997). Tratado de Fisiología Médica. *9º edición. Editorial McGRAW-HILL*
3. Kreider R (1998). Creatine supplementation: analysis of ergogenic value, medical safety, and concerns. *JEPonline, Vol 1, Nro 1*
4. Mazza J. C (1998). Revisión de aspectos fisiológicos y metodología de preparación física en el fútbol. *Resúmenes del VI Simposio Internacional de Actualización en Ciencias Aplicadas al Deporte, pp 375-383*
5. Menshikov, Volkov (1980). Bioquímica de la Actividad Física. *Vneshtorgizdat Moscu*
6. Whitten., Gayley, Davies (1985). Química General. *3º edición. Editorial McGRAW-HILL*
7. Wilmore, Costill (1995). Fisiología del Esfuerzo y del Deporte. *Editorial Paidotribo*
8. William, McArdle, F. Katch, V Katch (1983). Fisiología del Ejercicio. Energía, Nutición y Rendimiento Humano. *Editorial Alianza. S.A*