PubliCE, (PubliCE) 2000

Monograph

Introducción a la Bioenergética

Lic. Gustavo Metral[1]

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

Palabras Clave: atp, sustratos energéticos, hidratos de carbono, proteínas, grasas, oxidación

Para realizar una introducción al estudio de la bioenergética humana será necesario hacer un análisis global acerca del concepto de energía y la manera en la cual los diferentes organismos la obtienen para el desarrollo de la vida. Existen organismos que son denominados fotótrofos los cuales mediante la fotosíntesis transforman aproximadamente el 3% de la energía solar que llega a la tierra en otros tipos de energía principalmente química, la cual es utilizada para la síntesis de sus propios componentes orgánicos como por ejemplo hidratos de carbono, proteínas, ácidos nucleicos, etc., esto lo realizan a partir de sustancias inorgánicas muy simples del medio como agua, dióxido de carbono, nitrógeno, compuestos fosforados y otros. Los organismos anteriormente mencionados son denominados también autótrofos. El resto de los organismos son en cambio heterótrofos, los cuales dependen del alimento orgánico formado por otros seres vivos, debido a la incapacidad que poseen de realizar la síntesis de sus propios nutrientes. Algunos de éstos nutrientes son utilizados para formar parte constitutiva del nuevo organismo, mientras que otros son degradados para la obtención de energía y la utilización de la misma para la realización de trabajo biológico*. Éstos organismos son denominados también quimiótrofos, pues utilizan la energía química contenidas en las moléculas sintetizadas por los organismos autótrofos. Para graficar lo anteriormente mencionado se citará el siguiente ejemplo: la glucosa es sintetizada por organismos fotótrofos a partir de CO2 y H2O. La reacción global de la fotosíntesis puede expresarse mediante la ecuación:

6 moles CO2 + 6 moles H2O + 686 kcal. = 1 mol C6 H12 O6 + 6 moles de O2

El dióxido de carbono y el agua se transforman en un compuesto de mayor contenido energético: la glucosa. Éste tipo de reacción es denominada endergónica. Las reacciones endergónicas son aquellas que solo ocurren en presencia de energía, con una variación entálpica positiva. Las 686 kcal. necesarias para sintetizar un mol de esta hexosa son provistas por la energía proveniente de la radiación solar.

El trabajo biológico puede tener tres formas: (1) el trabajo mecánico por ejemplo de la contracción muscular, (2) el trabajo químico que implica la síntesis de las moléculas celulares, o (3) el trabajo osmótico de transporte que concentra varias sustancias en los líquidos intra y extracelulares.

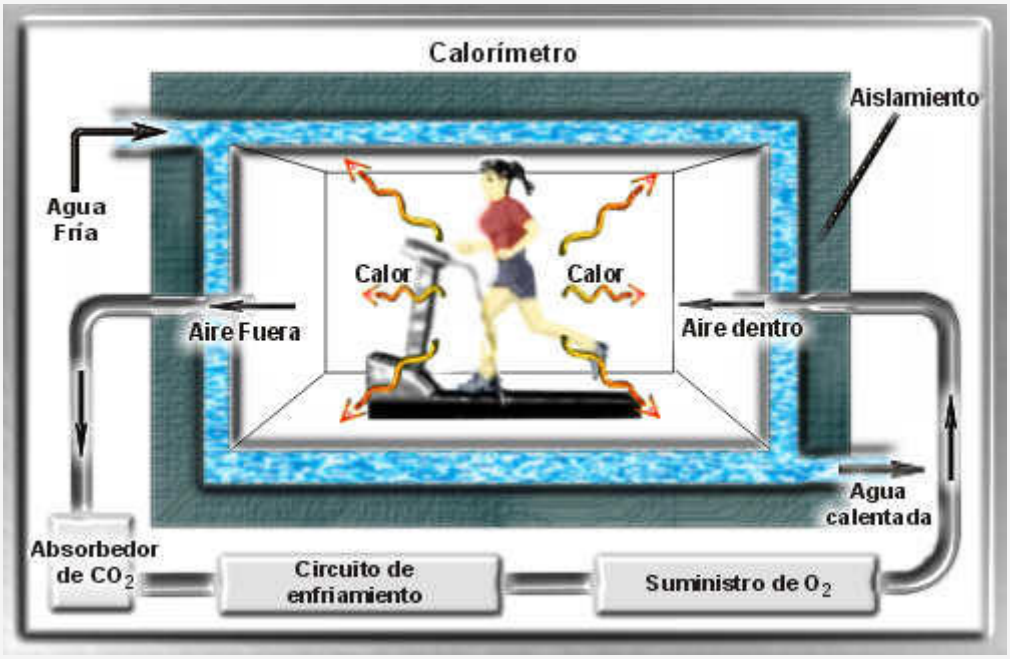
La glucosa ahora ha incorporado 686 kcal. por mol, las que podrán ser aprovechadas por organismos capaces de degradarla y de utilizar la energía que se libere en esta reacción exergónica en la realización de trabajo de cualquier tipo: mecánico, químico, u osmótico. Las reacciones exergónicas son aquellas que se producen espontáneamente y liberan energía al medio produciendo un cambio de entalpía de valor negativo. Lo anteriormente dicho queda explícitamente demostrado mediante la siguiente ecuación:

1mol de C6 H12 O6 + 6 moles de O2 = 6 moles de CO2 + 6 moles de H2O + 686 Kcal

De lo recientemente expuesto debe quedar claro lo siguiente: 1)- Los organismos autótrofos son los únicos que pueden utilizar la energía solar captada en sus pigmentos para la realización de la fotosíntesis, mediante la cual transforman la energía de la radiación solar en energía química que queda contenida en las diferentes moléculas sintetizadas por éstos organismos, en el caso del ejemplo anterior: la glucosa. 2)- Que los organismos quimiótrofos dependen exclusivamente para sobrevivir de la energía química obtenida de las diferentes moléculas sintetizadas por los organismos autótrofos.

Por energía se entiende la capacidad de realizar trabajo o transferir calor, la misma puede ser tanto cinética como potencial; la energía cinética hace referencia a la posibilidad de realizar trabajo en forma directa con fácil transferencia de un cuerpo a otro por ejemplo energía mecánica, eléctrica, calorífica, luminosa. Por otro lado la energía potencial es la que

posee un cuerpo debido a su posición o composición por ejemplo energía química. El trabajo es una forma de energía en la cual un cuerpo se desplaza en una determinada distancia debido a la aplicación de una fuerza. Puesto que toda la energía se degrada finalmente en calor la cantidad de energía liberada en una reacción biológica se calcula a partir de la cantidad de calor producido. La energía producida en los sistemas biológicos se mide en kcal. Por definición una kcal. equivale a la cantidad específica de energía necesaria para elevar la temperatura de 1kg. de agua desde 14.5ºC hasta los 15.5ºC con una presión atmosférica de 760 mmHg. Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar la temperatura de 1 gramo de agua en las mismas condiciones anteriormente mencionadas. La energía producida durante la actividad física puede medirse a través de calorimetría directa, en donde el calor liberado durante la contracción muscular calienta un volumen conocido de agua que rodea el calorímetro (fig.1). El producto del aumento de la temperatura por el peso del agua da el número de kcal. liberadas. Pero la lenta generación de datos que produce la cámara calorimétrica no permite el estudio del metabolismo energético durante el ejercicio intenso, esto unido al alto costo de construcción de éstas cámaras hacen que su uso en la actualidad sea escaso.



Otro método de medición del gasto energético durante el ejercicio se realiza a través de la calorimetría indirecta; la misma se realiza en un equipo de ergoespirometría computarizada. Debido a que más del 95% de la energía gastada por el cuerpo deriva de las reacciones del oxígeno con los diferentes alimentos y como las cantidades de oxigeno y dióxido de carbono intercambiados en los pulmones normalmente igualan a las intercambiadas en los tejidos; a través de la recolección de estos datos se puede obtener el consumo calórico. Para calcular cual es la energía utilizada por el organismo durante el ejercicio se necesita saber que tipo de combustible se están oxidando (hidratos de carbono, grasas y proteínas). Esto se hace mediante la medición del cociente respiratorio (R) que es igual a la exhalación de dióxido de carbono sobre el consumo de oxígeno (VCO2/VO2). Debido a que las concentraciones de C, H y O difieren en estos tres nutrientes, la cantidad de oxígeno para oxidarlos también. Para entender mejor este proceso vamos a decir que para oxidar completamente a un determinado substrato la cantidad de oxígeno que se debe consumir debe ser suficiente para:

1) Por cada 2 átomos de hidrogeno (H2) que contenga el substrato se debe producir una molécula de agua (H2O), y 2) Por cada átomo de carbono (C) que tenga el substrato se deben obtener una molécula dióxido de carbono (CO2).

Por lo tanto se necesitarán consumir un átomo de oxígeno (1O) por cada dos hidrógenos que contengan la molécula y una molécula de oxígeno, es decir dos átomos de oxígeno, (1O2) por cada átomo de carbono que contenga el substrato. Sigamos el siguiente ejemplo, la glucosa (C6, H12, O6) como vemos contiene 6 átomos de carbono, 12 de hidrogeno y 6 de oxígeno. Debido a que la proporción existente entre átomos de hidrógeno y de oxígeno en todos los carbohidratos, es siempre igual a la del agua, es decir 2 a 1, todo el oxígeno consumido por las células es utilizado para la oxidación del carbono de la molécula del carbohidrato a CO2 (dióxido de carbono):

C6 H12 O6 + 6 O2 = 6 CO2 + 6 H2O + ENERGÍA

En este caso por cada molécula de CO2 producido se consume una molécula de oxígeno, por lo tanto el valor del cociente respiratorio (R) será de:

R= VCO2/VO2 R=6 CO2/6 O2 R= 1

Pero este valor R va a ser diferente de acuerdo a cada substrato que se oxide debido a que sus concentraciones de carbono, oxígeno e hidrogeno van a ser diferentes. Tomemos ahora el caso del ácido palmítico, C16 H32 O2, como podemos observar éste ácido graso contiene una cantidad mucho mayor de carbono e hidrogeno y una baja concentración de oxígeno respecto a la glucosa. Siguiendo los puntos anteriormente mencionados, para la oxidación este ácido graso se deberán formar 16 moléculas de CO2 y 16 de H2O. Para la constitución de 16 moléculas de dióxido de carbono se deberán consumir 15 O2 debido a que ya existe 1 O2 en el ácido graso, y para la formación de 16 moléculas de agua se necesitarán consumir 8 O2 debido a que no queda oxígeno en el ácido palmítico, haciendo un total de 23 O2 para la oxidación total de este ácido graso. Por lo tanto:

C16 H32 O2 + 23 O2 = 16 CO2 + 16 H2O + ENERGÍA

En este caso el valor del cociente respiratorio para el ácido palmítico será de:

R= VCO2/VO2 R=16 CO2/23 O2 R=0,69.

El siguiente combustible que se analizará es la proteína, para ello será necesario aclarar que las mismas no pueden oxidarse totalmente en el organismo humano debido a que el nitrógeno no puede ser oxidado, por lo tanto las proteínas deben sufrir un proceso denominado desaminación (perdida del grupo amina), el cual es excretado posteriormente como urea. Tomemos el caso de la albúmina:

C72 H112 O22 S + 77 O2 = 63 CO2 + 38 H2O + SO3 + 9 CO(NH2)2

Como se puede ver en el ejemplo anterior, la albúmina no puede ser oxidada totalmente a CO2 y H2O, como ocurre con los carbohidratos y las grasas debido a que después del consumo de las 77 moléculas de oxigeno, el resultado neto es de: 63 moléculas de dióxido de carbono, 38 moléculas de agua, una molécula de trióxido de azufre y 9 moléculas de urea.

El valor del cociente respiratorio en este caso será de:

R= VCO2/VO2 R= 63 CO2/77 O2 R= 0,818

Pero debido a que a través de la ergoespirometría computarizada no puede medirse la cantidad de urea producida, en la calorimetría indirecta el valor del cociente respiratorio obtenido no contabiliza la oxidación de las proteínas. Para medir la contribución de las proteínas al metabolismo energético se debería proceder al análisis de nitrógeno urinario. En la tabla número 1 se muestran para los diferentes valores de R, las kcal./litro de oxígeno necesario para la realización del ejercicio, el porcentaje de kcal. aportados por los hidratos de carbono y ácidos grasos, y por último los gramos de grasa e hidratos de carbono utilizados por litro de O2 consumido durante la contracción muscular.

Cociente respiratorio	KCAL/L de O2 consumido.	Porcentaje de Kcal.		Gramos/L de O2	
		Hidratos de carbono	Grasas	Hidratos de carbono	Grasas
0,70	4,686	0	100	0	0,496
0,71	4,690	1,10	98,9	0,012	0,491
0,72	4,702	4,76	95,2	0,051	0,476
0,73	4,714	8,40	91,6	0,090	0,460
0,74	4,727	12,0	88,0	0,130	0,444
0,75	4,739	15,6	84,4	0,170	0,428
0,76	4,751	19,2	80,8	0,211	0,412
0,77	4,764	22,8	77,2	0,250	0,396
0,78	4,776	26,3	73,7	0,290	0,380
0,79	4,788	29,9	70,1	0,330	0,363
0,80	4,801	33,4	66,6	0,371	0,347
0,81	4,813	36,9	63,1	0,413	0,330
0,82	4,825	40,3	59,7	0,454	0,313
0,82	4,825	40,3	59,7	0,454	0,313
0,83	4,838	43,8	56,2	0,496	0,297
0,84	4,850	47,2	52,8	0,537	0,280
0,85	4,862	50,7	49,3	0.579	0,263
0,86	4,875	54,1	45,9	0,621	0,247
0,87	4,887	57,5	42,5	0,663	0,230
0,88	4,899	60,8	39.2	0,705	0,213
0,89	4,911	64,2	35,8	0,749	0,195
0,90	4,924	67,5	32,5	0,791	0,178
0,91	4,936	70,8	29,2	0,834	0,160
0,92	4,948	74,1	25,9	0,877	0,143
0,93	4,961	77,4	22,6	0,921	0,125
0,94	4,973	80,7	19,3	0,964	0,108
0,95	4,985	84,0	16,0	1,008	0,090
0,96	4,998	87,2	12,8	1,052	0,072
0,97	5,010	90,4	9,58	1,097	0,054
0,98	5,022	93,6	6,37	1,142	0,036
0,99	5,035	96,8	3,18	1,186	0,018
1,00	5,047	100,0	0	1,231	0

Tabla 1

Sigamos el caso de un deportista que corre con un valor de cociente respiratorio (R) de 0.98 a 4lts./min., el mismo estaría

gastando 20 kcal./min., que saldrían de la multiplicación de 5,022 que son las kcal. consumidas por litro de oxígeno por los 4lts./min que es el consumo de oxígeno obtenido. De las 20 kcal. utilizadas para la realización del ejercicio 18.72, que significan el 93.6% provendrían de los carbohidratos y 1.274 que son el 6.37% provendrían de las grasas. Las 18.72 kcal. provenientes de los hidratos de carbono representan la oxidación de 4.568 gramos de este combustible que se obtienen mediante la multiplicación de 1,142 que son los gramos de carbohidratos consumidos por litro de oxígeno, por los 4lts/min. que es el consumo de oxígeno obtenido en ese período, y el gasto de las 1.24 kcal. provenientes de la grasa corresponden a la oxidación de 0.144 gramos de la misma. Este resultado se obtiene de la multiplicación de los 4lts/min. por 0,036, que representan los gramos de grasa consumido por litro de oxígeno utilizado durante la contracción muscular. Entonces obteniendo el cociente respiratorio a través de la ergoespirometría y mediante la utilización de éstas tablas se obtienen las kcal. gastadas durante el ejercicio y la fuente energética (hidratos de carbono y grasas) de la cual provienen. Pero este método de calorimetría indirecta a través de la medición del cociente respiratorio no es perfecto debido a que las concentraciones de CO2 en sangre varían notablemente. Por ejemplo debido a una alta intensidad de ejercicio aumenta la producción de ácido láctico que por su bajo pk de 3,9 se disocia rápidamente de un H transformándose en lactato, para la amortiguación de este H, el ion bicarbonato (HCO3) acepta el H liberado por el ácido láctico transformándose en ácido carbónico (H2CO3) que por acción de la enzima anhidrasa carbónica se divide formando CO2 y H2O, obteniendo como resultado un aumento neto en la concentración de dióxido carbono. Por otro lado, como mencionamos anteriormente, las proteínas no se pueden oxidar totalmente debido a que el nitrógeno no es oxidable por lo tanto R en estas ocasiones es considerado un R no proteico, y se ha calculado que en determinados ejercicios el aporte proteico para la producción energética llega al 10% del total. Éste método de calorimetría indirecta se vuelve más eficiente en estado de reposo y mediante la realización de ejercicio de intensidad constante.

Otra forma de medición del metabolismo energético se realiza a través de mediciones isotópicas mediante el método del agua con doble marcador radioactivo en el cual el sujeto ingiere una cantidad conocida de agua con dos isótopos marcadores (2H2 18 O), el deuterio (2H) se redistribuye por el agua de todo el organismo y el oxígeno-18 (18 O) también lo hace en el agua y en las reservas de hidratos de carbono del organismo. Analizando la concentración de éstos isótopos en sangre saliva y orina se puede obtener la velocidad a la cual éstos isótopos abandonan el organismo. Éstos datos pueden utilizarse para medir el ritmo de producción de dióxido de carbono y mediante ecuaciones matemáticas obtener una medición del metabolismo energético. Este método se lleva a cabo durante varios días y no es útil para medir el ejercicio agudo, cabe acotar que el mismo tiene una precisión mayor al 98%. En la siguiente tabla (2) se muestra el gasto energético producido durante diferentes tipos de actividad física medidas en kcal/min.

ACTIVIDAD	PESO EN KILOGRAMOS						(KCAL/KG/MIN)
	50	60	70	80	90	100	
BASKETBALL	6,15	7,38	8,6	9,84	11	12,3	0,123
CICLISMO (16 Km/h)	5,35	6,42	7,5	8,56	9,63	10,7	0,107
HANDBALL	7,85	9,42	11	12,5	14,1	15,7	0,157
CARRERA 7,0 mph (11,26 Km/h)	10	12	14	16	18	20	0,200
CARRERA 10 mph (16,09 Km/h)	13	15,6	18,2	20,8	23,4	26	0,260
NATACIÓN (CROL) 3 mph (4,82 Km/h)	14,25	17,1	20	22,8	25,6	28,5	0,285
TENIS	5,05	6,06	7,1	8,08	9,09	10,1	0,101
CAMINAR 3,5 mph (5,63 Km/h)	3,55	4,26	5,0	5,68	6,39	7,1	0,071
LEVANTAMIENTO DE PESOS	5,85	7,02	8,19	9,36	10,5	11,7	0,117
LUCHA	9,35	11,2	13,09	14,9	16,8	18,7	0,187

Tabla 2

RESERVAS ENERGÉTICAS DEL ORGANISMO

Una reserva energética es la acumulación de diferentes substratos bajo una forma específica que contienen dos fines principales: el primero sería preservar la energía química dentro del organismo, y el segundo otorgar esa energía química contenida en sus moléculas para la formación de compuestos intermediarios especiales, de alta contenido energético los cuales actúan como reservorio de baja cuantía, pero fundamentalmente como transportadores de la energía a utilizar directamente en la realización de trabajo en la célula. Éste compuesto intermediario rico en energía es el adenosín trifosfato (ATP).

CARATÉRISTICAS DE UNA RESERVA ENERGÉTICA IDEAL

Si se enumeran las características más relevantes que transformarían a un determinado substrato en una reserva energética ideal para la realización de ejercicio físico no podríamos dejar de enumerar cuatro aspectos fundamentales: 1) La molécula debe poseer una gran cantidad de energía sobre unidad de peso. 2) El substrato debe poseer una rápida conversión a combustible oxidable. 3) Ésta sustancia debe ser osmóticamente inactiva. 4) La oxidación de la reserva no debe generar alteraciones metabólicas.

HIDRATOS DE CARBONO

Los hidratos de carbono o carbohidratos son compuestos ternarios conformados por carbono, oxígeno e hidrogeno. La forma de reserva de los hidratos de carbono en el organismo humano es a través del glucógeno, el mismo se almacena principalmente en el hígado (100 grs.) y en el tejido muscular (entre 200 y 300 grs.). Cabe mencionar que éstas reservas de carbohidratos son muy escasas debido a que su cantidad total en el organismo representa entre unas 1.500 a 2.000 kcal. de energía, las cuales no alcanzarían para terminar una maratón de 42 km. Utilizando las cuatro variables anteriormente mencionadas para valorar la utilidad de los carbohidratos como substrato energético, nos encontraremos con: 1) Los carbohidratos poseen una muy baja cantidad de energía por unidad de peso debido a que en el organismo humano 1 gramo de glucógeno se almacena junto a 2,75 gramos de agua, esto hace que sea un depósito de energía relativamente ieneficiente debido que solo aporta 1,06 kcal. por gramo de glucógeno almacenado, versus las 4,2 kcal. que aportan los hidratos de carbono no hidratados. 2) Una ventaja de los hidratos de carbono como reserva energética es que los mismos poseen (como analizaremos más adelante en este apartado) una rápida conversión a combustible oxidable. 3) Un punto desfavorable de los carbohidratos como quedó analizado en el punto número 1 es que los mismos distan mucho de ser osmóticamente inactivos, debido a que atraen 2,75 grs. de agua por cada gramo de glucógeno almacenado. 4) Otro problema relacionado con este combustible es que puede generar alteraciones metabólicas debido a la producción de ácido láctico el cual debido a su bajo pka de 3,9 se disocia de un H produciendo una disminución en el pH con posteriores alteraciones sobre el organismo, las cuales serán analizadas dentro del apartado de glucolisis anaeróbica en efectos de la acumulación masiva del ácido láctico.

GRASAS

Las grasas son al igual que los carbohidratos compuestos ternarios conformados por carbono, oxígeno e hidrogeno. Las mismas constituyen el principal substrato energético durante el ejercicio de largo aliento y baja intensidad. La forma de reserva de las grasas en los humanos se hace en forma de triglicéridos principalmente en el tejido adiposo, aunque también existe una reserva menor de triglicéridos en el tejido muscular. La reserva total de ácidos grasos en el organismo representan aproximadamente unas 90.000 a 110.000 kcal., las cuales constituyen la principal reserva energética del organismo. Si realizamos un análisis de las grasas como reserva energética utilizando las cuatro variables mencionados al principio, obtendremos los siguientes datos:

1) Las grasas debido que poseen un reducido contenido de agua poseen una relación energía/peso superior al 90%, debido a que un gramo de grasa va a producir 9,4 kcal. en su oxidación. 2) Una desventaja de las grasas como reserva energética es su lenta conversión a combustible oxidable, como se analizará más adelante. 3) Como se mencionó en el punto número 1 los triglicéridos se almacenan casi en ausencia de total de agua por lo tanto son osmóticamente inactivos. 4) Por último los ácidos grasos no producen alteraciones metabólicas durante su oxidación.

Éste combustible debido a las características anteriormente mencionadas (es la reserva energética de mayor contenido dentro del organismo, contiene una alta energía sobre unidad de peso, es osmóticamente inactiva y se oxida totalmente a dióxido de carbono y agua, moléculas que no producen alteraciones metabólicas) conforma la reserva energética más

eficiente del organismo, teniendo como desventaja su lenta conversión a combustible oxidable para la realización de trabajo(ATP), aspecto que puede ser mejorado a través del entrenamiento.

PROTEÍNAS

Las proteínas al contrario de las grasas y los hidratos de carbono son compuestos cuaternarios que están constituidas por carbono, oxígeno, hidrogeno y nitrógeno y son después del agua el constituyente más abundante del organismo humano. Pero más allá de ser abundante su cuantía en el organismo, el ser humano no posee un depósito energético proteico ya que las proteínas poseen un rol funcional dentro del organismo. Por ésta razón no se puede someter a las proteínas al mismo análisis anteriormente realizado con los carbohidratos y las grasas. Teniendo en cuenta éstos aspectos debe quedar debidamente explícito que más allá de que las proteínas no conformen una reserva energética específica en el organismo, las mismas pueden oxidarse y formar energía; la oxidación de1gr. de proteína en la bomba calorimétrica* produce 5,6 kcal., pero la producción energética de las proteínas dentro del organismo humano va a ser de aproximadamente 4,6 kcal., esto es debido a la imposibilidad que tiene el organismo de oxidar el nitrógeno perdiéndose el 17% de la energía que contiene la misma. Por las razones anteriormente citadas se les otorga a las proteínas un rol funcional primario y energético secundario pudiendo llegar a producir hasta un 10% de la energía total en el ejercicio físico sobre todo si los depósitos de carbohidratos son escasos.

FOSFOCREATINA

La fosfocreatina se encuentra conformada por un aminoácido que es la creatina unido mediante un enlace muy rico en energía a un fósforo, la misma se caracteriza por ser la reserva que mayor cantidad de energía produce en unidad de tiempo pero su contenido en el organismo es muy bajo. La fosfocreatina se encuentra localizada dentro de las diversas fibras musculares, siendo mayor su contenido en las fibras explosivas (tipo IIb). Para analizar las características de ésta reserva energética utilizaremos los cuatro puntos con los que se analizaron los carbohidratos y las grasas:

1) La fosfocreatina posee una alta energía sobre unidad de peso debido a que el enlace de alta energía que une a éste aminoácido con el fósforo posee unas 14 kcal., las cuales constituyen el doble de la energía que posee el enlace terminal de ATP. 2) Este substrato posee una altísima velocidad de transformación a combustible oxidable. 3) Numerosos trabajos científicos evidencian que después de un período de carga de suplementación con monohidrato de creatina (que produce un aumento en la cantidad de creatina libre y fosfocreatina) se produce un incremento en el peso corporal, la hipótesis* largamente más aceptada que se utiliza para la explicación de este fenómeno expide que ocurre un incremento en la retención de agua causado por un aumento en la tasa de creatina total de lo cual se deduce que éste substrato no sería osmóticamente inactivo. 4) El último punto a tener en cuenta es que la energía que produce la creatina durante el proceso de la formación de ATP no forma ningún tipo de desecho metabólico.

Se expondrán una mayor masa de datos relativos a la creatina y la fosfocreatina en el apartado de bioenergética dentro de la exposición del sistema anaeróbico aláctico.

Cabe aclarar que esta hipótesis de un aumento en la retención de agua por un incremento en la tasa de creatina total todavía no ha sido debidamente corroborada.

La bomba calorimétrica es un dispositivo diseñado para la medición de la liberación de energía por diferentes nutrientes, en la cual se colocan diversos alimentos en su interior los que son quemados y la cantidad de calor de combustión que producen calienta un volumen conocido de agua que rodea el calorímetro, el resultado de la multiplicación de la elevación de la temperatura por el volumen del agua va a dar como resultado la energía química contenida en los diversos nutrientes. Al contrario de las proteínas tanto los carbohidratos como las grasas producen la misma cantidad de energía en la bomba calorimétrica que en el organismo debido a que éstos dos combustibles se encuentran en ausencia de nitrógeno y solo contienen C,H y O que pueden oxidarse totalmente éstas dos estructuras anteriormente mencionadas.

REFERENCIAS

1. Blanco, Antonio (1990). Química Biológica. *6º edición. Editorial El Ateneo*
2. Guyton, Arthur (1997). Tratado de Fisiología Médica. *9º edición. Editorial McGRAW-HILL*
3. Menshikov, Volkov (1980). Bioquímica de la Actividad Física. *Vneshtorgizdat Moscu*
4. Whitten., Gayley, Davies (1980). Química General. *3º edición. Editorial McGRAW-HILL*
5. Wilmore, Costill (1996). Fisiología del Esfuerzo y del Deporte. *Editorial Paidotribo*
6. William, McArdle, F. Katch, V Katch (1992). Fisiología del Ejercicio. Energía, Nutición y Rendimiento Humano. *Editorial Alianza.*

S.A