Monograph

Bioenergética Aplicada al Acondicionamiento Físico

Mauricio Moyano, MSc[1] y Mg. Marcelo Bolognese[1]

[1]*Curso a Distancia de Personal Training. (http://www.sobreentrenamiento.com/CurCE/PTrainer/PRESENTACION.asp)*

RESUMEN

Palabras Clave: sistemas energéticos, producción de energía, atp, supercompensación, sustratos

Cuando te hablamos de Acondicionamiento Físico, primero debemos dejar en claro para quién va destinado ese acondicionamiento, por ello vamos a hablar primero del acondicionamiento físico para el fitness (concepto ya desarrollado) y dentro de éste debemos realizar una clasificación en cuanto al nivel del entrenado:

- Fitness Principiante.
- Fitness Intermedio.
- Fitness Avanzado.

De acuerdo al nivel de fitness al que se adapte nuestro entrenado, será el nivel de acondicionamiento destinado a promover su progresión. Para este desarrollo, debemos recordar los componentes del fitness:

- Resistencia Aeróbica.
- Fuerza.
- Resistencia Muscular.
- Flexibilidad.
- Composición Corporal.

Cada uno de éstos componentes los desarrollaremos en las conferencias siguientes, pero es necesario introducirnos en los procesos de generación de energía que posee nuestro cuerpo, para que sepamos los fundamentos del trabajo con éstos componentes del fitness.

¿Cuáles son los componentes a adaptar en el cuerpo?
Nuestra **Estructura** (huesos, ligamentos, tendones, músculos, órganos, sistemas, etc.) y nuestras **Funciones** (velocidad de las diferentes reacciones químicas, metabólicas, enzimáticas, hormonales, nerviosas, funciones cardíacas, respiratorias, etc.).

Vamos a hablar de en primera instancia de lo funcional, y para ello debemos hacer una revisión de nuestros sistemas energéticos, que no son otra cosa que los sistemas que posibilitan la realización de las diferentes reacciones químicas que se dan dentro de la célula y posibilitan la provisión de la energía necesaria para generar movimiento o fuerza.

Sabemos que para subsistir necesitamos energía química y ésta es provista por los alimentos, pero ¿cómo funciona todo?, ¿cómo aprovechamos y/o almacenamos energía?

Ahora vamos a contestar todas estas preguntas, adaptando los conceptos fisiológicos a la actividad física, para facilitar el "saber" y el "saber hacer".

SISTEMAS ENERGÉTICOS

Los tres sistemas energéticos **Interaccionan** entre si, es decir que siempre funcionan los tres, aunque en una actividad **Predomina** uno de ellos y, si a esa actividad tenemos que entrenarla, debemos ser **específicos** en su estimulación.

Como vemos **Interacción, Predominio y Especificidad** son características trascendentales que debemos manejar y conocer para así entender que los sistemas son dinámicos, que interactúan permanentemente, que predomina alguno de ellos en determinados gestos o acciones o actividades, pero también dependen de la Intensidad, del Volumen, de la Densidad, de la Frecuencia, de las características genéticas de la persona, de la alimentación, del descanso, de los hábitos de vida, del ambiente social que lo rodea, de su entorno afectivo, etc.

En realidad las tres fuentes participan simultáneamente, fenómeno denominado **contínum energético**, luego, cuando se habla de utilización de un sistema u otro se habla de **predominancia** de un sistema en el aporte energético de determinada actividad (Figura 32).

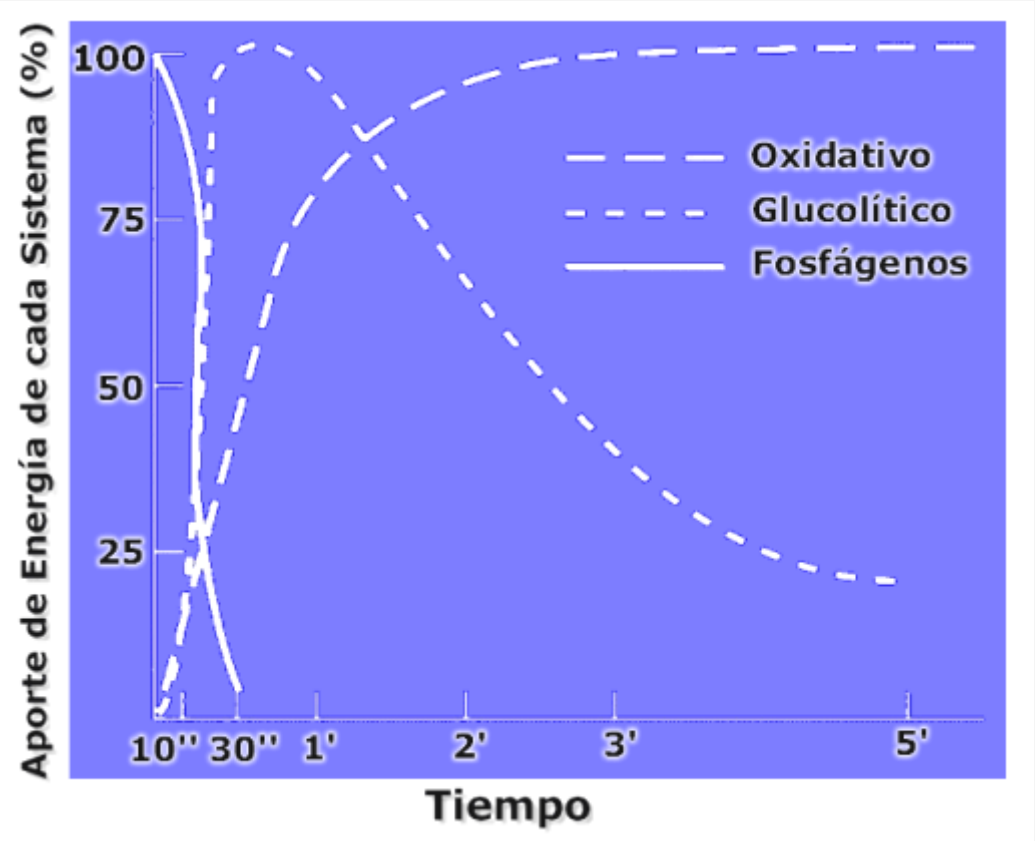

Figura 32. *Continum Energético. Brooks.*

¿Qué determina que predomine un sistema u otro?

Entre otras causas, el tiempo de duración de un ejercicio, su intensidad, su volumen, las reservas químicas almacenadas, la velocidad de liberación de energía, etc.

Ahora bien, la energía química se encuentra almacenada en el interior celular, que con los estímulos necesarios se va a transformar en energía mecánica más energía calórica, lo hace a través de un compuesto químico llamado ATP (Adenosín Tri- Fosfato).

Fundamentalmente la actividad energética de la célula es:

A. Formar y conservar ATP de la energía potencial de los alimentos.
B. Utilizar la energía química del ATP para trabajo biológico.

Los Carbohidratos y las Grasas no son transformadas en moléculas de ATP, más bien, una porción de la energía acumulada en los enlaces químicos de esos combustibles es liberada y es ésta energía la que posibilita que el ATP se resintetice o se reconstituya. El ATP cumple funciones como digestión, contracción muscular, transmisión nerviosa, termo regulación, circulación, secreción glandular, construcción de tejidos etc.

Sin la presencia de ATP es imposible que los filamentos de actina se desplacen sobre los de miosina desencadenando la contracción muscular.

De esta manera el ATP es considerado la moneda energética de la célula.

El ATP no puede ser suministrado por la sangre o los tejidos, por lo que es almacenado dentro de las células en pequeñas cantidades, y ese mismo lugar es reciclado continuamente.

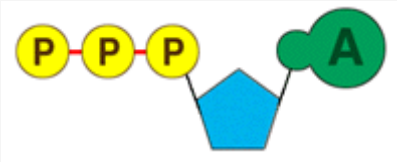

Figura 33. *Adenosín TriFosfato (ATP)*

Todas nuestras reacciones en el organismo necesitan energía (hasta incluso para dormir), y la obtenemos casi por completo por medio del compuesto químico llamado ATP (adenosín-tri-fosfato) (Figura 33) y también de otro compuesto, el GTP (guanosín-tri-fosfato), pero de manera casi insignificante.

El ATP, que se forma del enlace de una molécula de Adenosina y tres Fósforos, tiene un enlace de alto contenido energético (12000 calorías) y se encuentra de forma limitada en el interior de la célula, cuando requerimos de forma abrupta de él en cualquier situación, ponemos como ejemplo un salto o lanzamiento, éste se desdobla formando ADP (Adenosín-di-fosfato) en forma inmediata.

En la célula existe otro compuesto químico, el PC (Fosfo-creatina), cuya función es reconstruir el ADP en ATP (Figura 34). Entre éstos dos compuestos energéticos forman el **sistema N° 1 o sistema de los Fosfágenos** (por la presencia del mineral en los dos compuestos que lo forman).

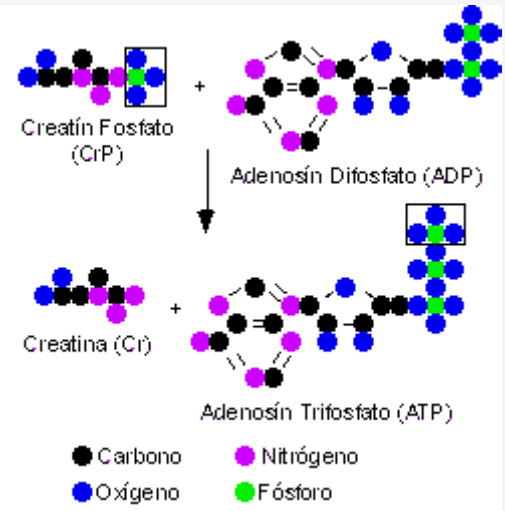

Figura 34. *Sistema Nº 1 o sistema de los Fosfágenos.*

Existen aproximadamente 5 PC por cada ATP y la duración total de provisión de energía por parte del PC al ADP (en forma predominante) será de unos 10 segundos aproximadamente en las personas no entrenadas; en personas altamente entrenadas esta duración puede aumentar debido a que aumenta la reserva de ATP con una relación de 1 a 3.

Es importante señalar que el tipo de estímulo o acción motora donde este sistema energético se estimula en forma predominante por sobre los otros dos, es en el caso de acciones explosivas, rápidas, veloces o que requieran de altísimos niveles de fuerza, así es que proponemos ejemplos como un pique de 50 metros, 5 o 6 multi-saltos, la ejecución de un ejercicio de sobrecarga donde el peso sea tal que sólo nos permita realizar 3 o 4 repeticiones, etc.

Una vez descendidos los niveles de ATP y más aún los de PC en el interior de las células musculares que participaron en el ejercicio, hay que reponerlos. Este proceso de reposición se lleva a cabo en un corto período de tiempo en forma parcial y en un tiempo mayor en un porcentaje mayor. Así es que, de acuerdo al nivel del entrenado, a los 30 segundos existiría una reposición del 50% de lo que se utilizó y a los 3 minutos la recuperación sería casi completa (un 95% aproximadamente).

Ahora bien, ¿qué sucede si el esfuerzo dura más de 10 o 12 segundos?
Comienza a predominar en la generación de energía otro sistema o mecanismo de reposición del ATP, que es el **sistema N° 2 o sistema glucolítico** (debido a que genera una serie de reacciones químicas catabólicas de la molécula de glucosa, denominadas en conjunto Glucólisis). Este sistema va a provocar una serie de reacciones de ruptura de los carbohidratos que se ingirieron durante las comidas (Figura 35).

Así éstos se almacenaron, luego de los procesos de digestión y absorción, en hígado (glucógeno hepático), donde las reservas pueden ser de 70 a 100 gramos y músculo (glucógeno muscular), cuyas reservas varían entre 250 y 400 gramos, de acuerdo al nivel de entrenamiento del sujeto.

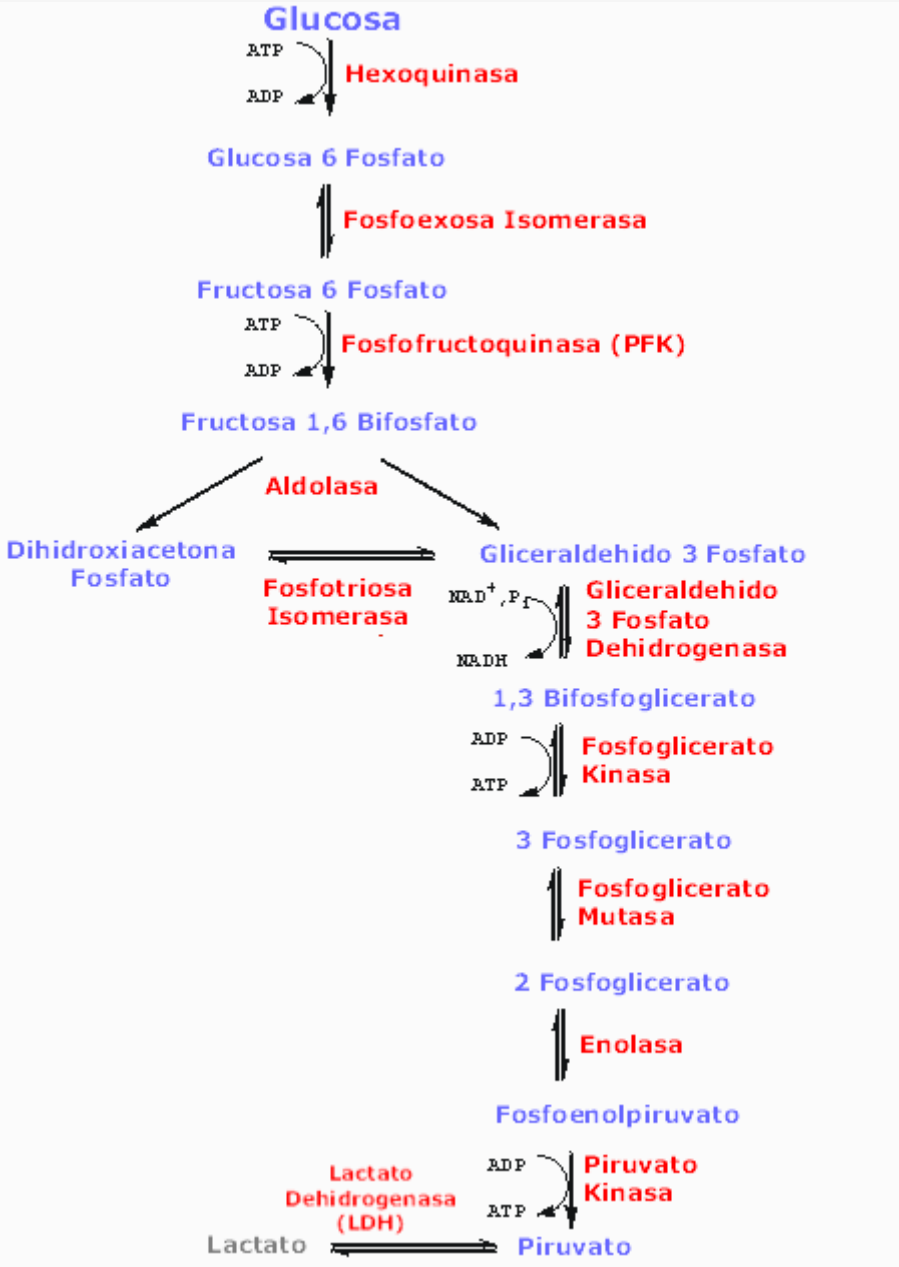

Figura 35. *Sistema Nº 2 o sistema Glucolítico.*

Es a partir del glucógeno muscular donde comienza la generación de energía del sistema N°2, ya que la molécula de glucógeno es degradada en moléculas más pequeñas, evento denominado glucógenolisis, es decir en glucosas, que son las que sufrirán el proceso de ruptura denominado glucólisis. Este permitirá la liberación de energía en forma rápida para la restitución del ATP.

La reacción de glucólisis se da por completo en el citoplasma celular (sin presencia de oxígeno) y luego de una serie de pasos metabólicos o reacciones químicas, que no es necesario detallar, da como resultado la generación de energía capaz de resintetizar o reconstituir 2 moléculas de ATP, que será utilizado para el esfuerzo.

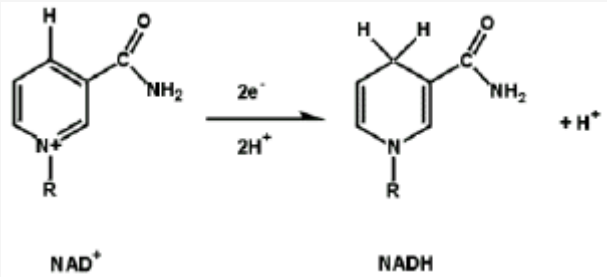

Figura 36. *Nicotinamina Adenina Dinucleótido (NAD). NAD+: Oxidado. NADH: Reducido.*

También la glucólisis va a generar 2 moléculas de ácido pirúvico y dos pares de hidrógenos (liberados en dos pasos metabólicos) que van a ser tomados por una coenzima que cumple funciones de transporte de hidrógenos, que es el NAD (Figura 36).

Esta reacción química que es la glucólisis se puede dar a distintas velocidades (rápida, intermedia y lenta) dependiendo de la intensidad del esfuerzo.

Esto es debido a que mientras mayor sea la intensidad del trabajo físico, más rápido se necesita generar energía, por esto el ATP requiere ser resisntetizado muy velozmente, y si el ejercicio sobrepasó los 10 - 12 segundos, la vía de generación de energía es la glucólisis predominantemente. Así es que si el nivel de dificultad del trabajo aumenta por intensidad, la velocidad de las reacciones químicas se incrementa, logrando aportar la energía necesaria para el requerimiento específico.

Ejemplo 1

Si la velocidad de la glucólisis es lenta (Figura 37), con sus productos finales pasa lo siguiente: las dos moléculas de ATP son utilizadas como energía, el ácido pirúvico y los hidrógenos transportados por una la coenzima NAD, entran a la mitocondria (organela de la célula cuya función es la generación de energía), y allí entran en una reacción química llamada Ciclo de Krebs y Cadena Respiratoria, cuyo producto final será la fabricación de 36 moléculas de ATP.

Figura 37. *Caminar: Velocidad de Glucólisis Lenta.*

Estas serán utilizadas como fuente de energía, pero esta organela trabaja con provisión de oxígeno, que cumple funciones muy importantes, debido a que es el aceptor final de los hidrógenos.

Ejemplo 2

Si la velocidad de la glucólisis es intermedia (Figura 38), con sus productos finales sucede lo siguiente: los 2 mol de ATP que se generan en la ruptura de la glucosa, son utilizados también como energía, el ácido pirúvico y los hidrógenos (transportados por el NAD), en parte se juntan y en parte entran a la mitocondria por separado, o sea que el NAD lo vamos

a imaginar como una carretilla que permite el transporte de los hidrógenos generados en la glucólisis y en el ciclo de Krebs al interior de la mitocondria, más específicamente a la Cadena Respiratoria.

Figura 38 . *Correr despacio. Velocidad de Glucólisis Intermedia.*

El ácido pirúvico que ingresa a la mitocondria, se transforma en acetil coenzima A, y genera energía a partir de su participación en el Ciclo de Krebs y la Cadena Respiratoria. Con la parte que no ingresa, se genera un producto denominado ácido láctico, proveniente de la unión química del ácido pirúvico y los hidrógenos.

¿Para qué se forma este compuesto?
Para que siga un tiempo más funcionando la glucólisis. Esto es porque existe una ley en química que se denomina ley de acción de masas que dice "conforme se acumula en una reacción química sus productos finales, la velocidad de la misma tiende a cero", entonces como se acumulan el ácido pirúvico y los hidrógenos, éstos se juntan para no detener la glucólisis y que ésta siga produciendo energía para reconstituir ATP.

¿Por que se forma este producto?
Porque la mitocondria no puede hacer ingresar toda la cantidad de ácido pirúvico e hidrógenos que se están produciendo debido a la velocidad de la glucólisis y aparte porque el NAD debe liberar o descargar los hidrógenos que transporta rápidamente, debido a que la velocidad de la glucólisis requiere que vuelva a tomar otros hidrógenos que están siendo liberados. Entonces debe descargar el hidrógeno en el lugar más cercano que se le permite, y ese lugar es el ácido pirúvico en el citoplasma celular. Así es que se produce la formación de ácido láctico.

Ejemplo 3

Si la velocidad de la glucólisis es rápida (figura 39), ocurren los procesos descritos anteriormente, pero con una mayor producción de ácido láctico. Esto va a ser debido a que, por un lado la intensidad del ejercicio será tal que requerirá generación de energía rápidamente, desencadenando esto una alta velocidad de ruptura de glucosa, con la consiguiente liberación de hidrógenos al medio interno celular.

Figura 39. *Correr Rápido: Velocidad de Glucólisis Rápido.*

Todos ellos serán tomados por los NAD para ser transportados, pero la necesidad de que éstos transportadores queden libres nuevamente para continuar el proceso es muy grande, así que toman la opción más rápida y cercana, que es la liberación de los hidrógenos en el ácido pirúvico.

Por otro lado, la intensidad del ejercicio y el corto tiempo no permiten un gran aporte de oxígeno al interior mitocondrial, y como sabemos, el proceso de generación de energía de Cadena Respiratoria se basa en la recepción de hidrógenos para su posterior transporte y generación de energía pero siempre y cuando esté presente el aceptor final que es el oxígeno.

Así es que la disminución o pobre aporte de oxígeno hace que los hidrógenos que transporta el NAD sean necesariamente llevados al ácido pirúvico, con la posterior producción de ácido láctico.

Ejemplo 4

Volvamos a la glucólisis lenta, supongamos que consideramos la actividad que dura mucho tiempo, ¿qué sucede?. Esta reacción química, glucólisis lenta comienza a ser reemplazada progresivamente por la ruptura de los lípidos para ser utilizados como energía, proceso denominado Lipólisis (hidrólisis de triglicéridos, o reservas de ácidos grasos).

De esta forma los ácidos grasos son liberados a la circulación sanguínea y se unen a proteínas de transporte (como por ejemplo la albúmina) para viajar hacia los músculos que están trabajando y los podrán utilizar como energía.

Los ácidos grasos libres ingresan a la célula muscular y luego deben entrar en las mitocondrias, para poder participar de los procesos de generación de energía.

El ingreso al interior de la mitocondria se ve facilitado por la acción catalizadora de una enzima llamada carnitina. Así es que se da lugar a la beta-oxidación , que es el ingreso de los ácidos grasos al interior mitocondrial y conversión en acil coenzima A, para poder ingresar al proceso de generación de energía que es el Ciclo de Krebs y posteriormente la Cadena Respiratoria.

Si realizamos una comparación entre la cantidad de energía que es producida por la glucólisis y por la beta-oxidación, veremos que existe una gran diferencia. La ruptura de una molécula de glucosa (si proviene del mismo músculo), puede alcanzar entre los tres procesos metabólicos (Glucólisis, Ciclo de Krebs y Cadena Respiratoria) una generación de energía capaz de resintetizar 39 ATP (38 si la glucosa proviene de la sangre).

La ruptura de un ácido graso libre, proveniente de la lipólisis, puede alcanzar entre los dos procesos metabólicos (Ciclo de Krebs y Cadena Respiratoria), la generación de energía capaz de formar 136 ATP.

Ahora bien, para que los lípidos sean la principal fuente energética, se deben cumplir ciertas condiciones en la realización del ejercicio, que tienen que ver con el tipo de ejercicio, la intensidad y el volumen del mismo.

Así es que en el trabajo físico debe haber una participación de grandes músculos y de gran cantidad de ellos, en un ejercicio de características cíclicas preferentemente (figura 40).

Figura 40. *Andar en Bicicleta.*

La intensidad del ejercicio es fundamental para permitir el uso de los lípidos como energía, ya que si bien pueden generar grandes cantidades de energía, solo lo pueden lograr con actividades de baja intensidad.

Por último, el volumen o cantidad de ejercicio también es un punto a tener en cuenta, ya que los procesos que describimos anteriormente necesitan de un tiempo determinado para predominar en el aporte energético por sobre los carbohidratos (glucógeno).

Se requiere una duración del ejercicio en forma continua de 20 minutos, en personas entrenadas y de 30 a 40 minutos en personas desentrenadas, para que se produzca el cambio en la predominancia de combustible energético para las células musculares.

Este cambio de combustibles en relación porcentual, se denomina "cruce de curvas" (cross over). Y marcaría que a partir de ese momento predominaría y comenzaría a aumentar todavía más el aporte energético a partir de los lípidos. También se deduce que los carbohidratos disminuirían notablemente su participación en la generación de energía.

Ejemplo 5

Volviendo al proceso de utilización de los lípidos como forma de energía, analizamos tres instancias en su metabolismo:

- Lipólisis o Hidrólisis (figura 41).
- Transporte o Penetración (figura 42).
- Beta-oxidación (figura 43).

Estas tres instancias se dan habiéndose producido previamente una glucólisis lenta y no habiéndose generado una glucólisis rápida.

Lo que genera nuestro organismo es un efecto ahorrador de glucógeno, ya que las reservas del mismo son escasas en comparación con las de los lípidos. Esta reserva deriva de la ingesta de alimentos grasos, de el exceso de carbohidratos y también del exceso de proteínas en la dieta.

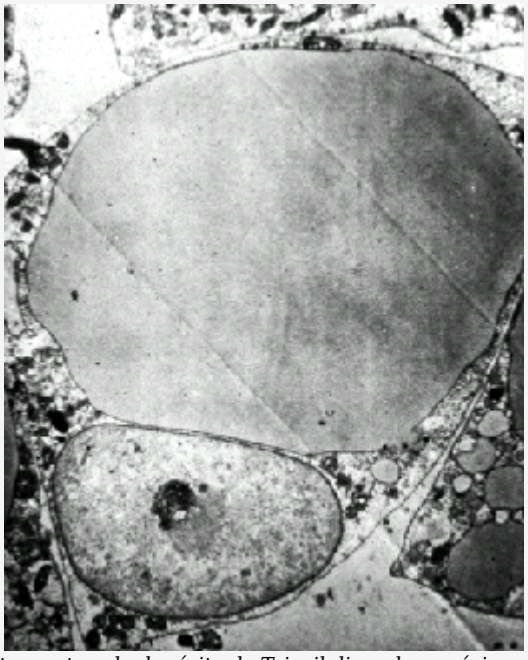

Figura 41. *Adiposito mostrando depósito de Triacilgliceroles, próximo a entrar en lipólisis.*

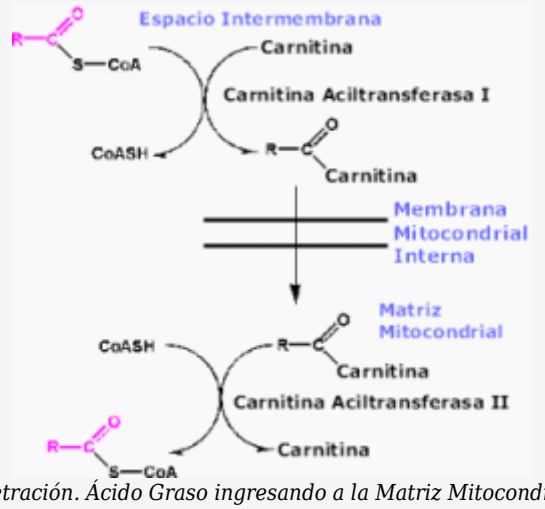

Figura 42. *Transporte o Penetración. Ácido Graso ingresando a la Matriz Mitocondrial con ayuda de la Carnitina.*

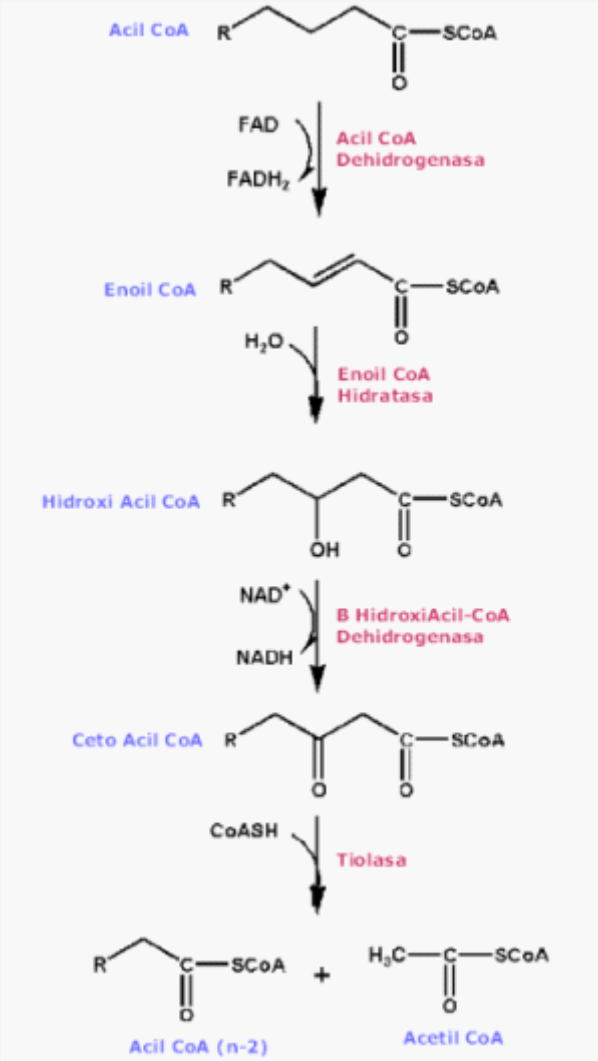

Figura 43. *Beta - Oxidación de los Ácidos Grasos Libres. (AGL)*

Ejemplo 6

Presentamos una comparación de actividades físicas entre personas entrenadas y no entrenadas.

Glucólisis Lenta	*Entrenado*	Trote suave.
	No Entrenado	Caminata o jogging (trote sin fase de suspensión).
Glucólisis Intermedia	*Entrenado*	Trote rápido.
	No Entrenado	Trote suave.
Glucólisis Rápida	*Entrenado*	Carrera.
	No Entrenado	Trote rápido.

La reserva de triglicéridos tiene una disposición corporal genética y natural, por ejemplo la disposición de la grasa en el hombre es androide (acumulación en la zona abdominal), mientras que en la mujer es ginecoide (acumulación en caderas).

Existe una razón para explicar esto, las mujeres necesitan tener reservas de grasa en esa zona principalmente por la provisión de calor que la zona requiere, y además poque allí se encuentran las gónadas, glándulas sexuales femeninas.

Por otro lado, nunca podemos acumular grasa en forma distal y no central, o sea en brazos sí y en zona media no, salvo patologías puntuales. Siempre la acumulación de grasa es primero central y luego periférica o distal, así mismo el gasto es primero en forma periférica y luego central, es decir que si se tiene grasa en los brazos, se va a tener más grasa en el abdomen, si se quiere disminuir ésta grasa del abdomen, por más de que se realicen 5000 abdominales en el gimnasio, irremediablemente se va a consumir la grasa de los brazos (periférica) y luego la abdominal (central).

Además, el ejercicio abdominal no es una actividad que estimule la lipólisis, realizado de forma única, sí propuesto en un conjunto de actividades que más adelante te vamos a plantear.

Con respecto a los sitios de ubicación de la grasa, recordamos que los lípidos se almacenan en dos tejidos: el tejido adiposo y el tejido muscular.

El tejido muscular aloja una pequeña cantidad de lípidos llamados comúnmente grasa intramuscular. La cantidad total de ésta reserva es de unos 160 gramos totales.

El tejido adiposo va a almacenar lípidos en: el tejido adiposo sub-cutáneo (grasa que se encuentra debajo de la piel y por encima de la masa muscular), y el tejido adiposo interno o grasa interna (que se encuentra en el interior del organismo recubriendo órganos internos). La cantidad total de ésta reserva es de unos 7000 gramos como mínimo.

Ahora bien, si pensamos, por ejemplo, que cuando hacemos abdominales gastamos grasa intramuscular, o sea grasa que se encuentra dentro de las células musculares abdominales estamos en un concepto cierto. Pero como producto final las reservas de grasas intramusculares se agotan y luego se reponen en mayor medida porque el cuerpo tiende a la adaptación del estímulo y a la supercompensación, y como éste es un sustrato que se está utilizando permanentemente, tiende a aprovisionarse de éste.

Si tenemos como objetivo la disminución de la grasa localizada en zonas de caderas o abdomen, y deseamos provocarla a partir de la utilización de los ejercicios localizados, analíticos o uniarticulares solamente o como medio principal, estamos en un error.

Y por otro lado, si yo tengo un músculo que tiene 10 mitocondrias (el número es arbitrario, sólo a modo de ejemplo),y como sabemos los ácidos grasos van a ser consumidos dentro de las mitocondrias de los músculos que están trabajando (beta-oxidación), ¿cuántos ácidos grasos se van a consumir? No muchos seguramente.

Pero si en el ejercicio elegido incluyo muchos y grandes músculos, de manera que entre ellos incluyan 100 mitocondrias (número como ejemplo), tengo la certeza de que todas están trabajando para consumir ácidos grasos, y ¿cuántos ácidos grasos se van a consumir ahora?. Es evidente que en este ejemplo se consumirá mayor cantidad que en el anterior.

Con esto queremos expresar que actividades localizadas, como la gimnasia localizada, los ejercicios localizados en sala de musculación y demás trabajos realizados en forma aislada y como único medio de trabajo para el objetivo antes planteado, sirven poco y nada.

Recordemos los pasos que marcamos para activar una disminución de la masa grasa en la persona sedentaria. Dijimos que debíamos promover una glucólisis lenta al comienzo del trabajo, o sea que propondríamos bicicleta, cinta, y demás ejercicios cíclicos y de grandes músculos, todo esto hasta aproximadamente los 25 minutos.

Luego podríamos proponer ejercicios de movilidad local o ejercicios localizados, para aumentar el riego de sangre en esa zona y pensar que así se dilatarían los vasos sanguíneos de esa zona y se estimularía más la liberación de ácidos grasos en esa zona.

Pero esto es difícil de garantizar, aparte habría que asegurarse de que haya una importante descarga de adrenalina, y con este tipo de ejercicios corremos riesgo de que no la haya. Como también asegurarnos que la intensidad de los mismos no provoque acumulación de ácido láctico.

Por eso nosotros proponemos preferentemente en esta segunda instancia de hidrólisis masiva y posterior transporte, ejercicios de fuerza de grandes masas musculares, de intensidad o cargas medias bajas y con la precaución de no activar la glucólisis rápida para no acumular ácido láctico ya que, como sabemos, éste inhibe la movilización y utilización de los lípidos.

En la tercera instancia, que es muy importante porque es la etapa donde se eliminan los ácidos grasos a través de la betaoxidación, lo que proponemos es que si o si se trabajen gran cantidad de mitocondrias, a través de la participación de

grandes grupos musculares, con una relación superior a 1/6 de la masa total del cuerpo; para dar una idea, las piernas ocupan 1/6 de la masa total del cuerpo. Ejemplo:(en la bolilla número dos te proponemos más ejemplos).

Todo lo que expusimos hasta aquí de adaptación y entrenamiento hay que diferenciarlo desde la valoración de la respuesta individual.

Figura 44

Figura 45

Figura 46

Figura 47