

Ejercicio Físico y Ayudas Ergogénicas.

Physical exercise and ergogenic aids.

David Bolado Negueruela

Tutora: María José Noriega Borge
Escuela Universitaria de Enfermería
“Casa de Salud Valdecilla”

Titulación de Grado en Enfermería

Septiembre 2014

Índice

Resumen.....	1
Abstract	1
Introducción	2
Capítulo1: Metabolismo del deportista	3
1.1 Tipos de fibras musculares	3
1.2 Principales sustratos energéticos.....	6
1.3. Secuencia de utilización de los sistemas.....	8
1.4 Elecciones de sustrato en función de la intensidad y de la duración del ejercicio	9
1.5 Consumo de oxígeno como medida de la actividad muscular.....	10
1.6 Concepto de fatiga	12
Capítulo II Ayudas ergogénicas y tipos.....	13
1.1Tipos de ayudas ergogénicas	14
1.2 Estudio de la creatina.....	16
1.2 Estudio de la cafeína	18
1.3 Estudio de la L-Carnitina	20
1.4 Estudio de los BCAA (Branched Chain Amino-Acids)	21
1.5 Estudio del bicarbonato sódico (HCO_3^-)	22
1.6 Estudio de la glutamina.....	23
1.7 Estudio de la L-arginina y óxido nítrico	25
1.8 Estudio del Beta Hidroxi Metil Butirato (HMB).....	26
1.9 Estudio de la Taurina.....	26
Capítulo III Papel de la enfermería en el uso de ayudas ergogénicas	28
Conclusiones	30
Bibliografía	31

Resumen

En la actualidad el sedentarismo y la inactividad física en general, están siendo reconocidos como un grave problema de salud. De ahí que la promoción del ejercicio físico por parte de la enfermería sea un aspecto de gran importancia para la salud mundial.

Otro problema que surgen en personas que desarrollan ejercicio físico es el uso de las denominadas ayudas ergogénicas. El aumento de su consumo en los últimos años, hace que resulte importante conocer los beneficios y/o perjuicios que dichas sustancias pudieran producir además de los efectos en el rendimiento deportivo y la salud.

Conociendo el metabolismo del deportista, tipos de fibras musculares y sustratos energéticos utilizados en función de la intensidad y la duración del ejercicio en este trabajo se analizarán alguna de las principales ayudas ergogénicas con objeto de exponer los beneficios para la salud del individuo activo, además de las contraindicaciones y efectos secundarios a los que puedan dar lugar.

Así la enfermería tendrá un papel importante en la promoción del ejercicio físico y en la información de las sustancias ergogénicas a aquellos pacientes tengan intención de consumirlas.

DeCS: ayudas ergogénicas, ejercicio físico, metabolismo

Abstract

Nowadays the sitting position and physical inactivity are being recognized as a big health problem. So the promotion of physical exercise by the nursing profession is a really important aim for world health.

Another problem which appears with people who do physical exercise is the use of ergogenic aids. In the last few years there has been an increase in their use, so that knowledge of the benefits and the drawbacks that they could produce on the performance and the health is essential.

It is important to know the metabolism of the sportsman, the types of muscle fibres and the use of energy producing substances which are based on the intensity and the duration of the exercise. Taking this into account, in this work, ergogenic aids should be analyzed with the aim of explaining the advantages for the health of an active person in addition to knowing the contraindications and the side effects that they could produce.

So the nursing profession has a huge role in the promoting exercise and in the information of ergogenic aids to those patients who want to consume it.

MeSH: ergogenic aids, physical exercise, metabolism

Introducción

La actividad física es definida como *“todo movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos y que ocasiona un gasto de energía superior al estado de reposo”*¹. Así en base a esta definición, se puede decir que toda persona realiza siempre alguna actividad física casi de forma continua. En ocasiones se usa el término de actividad física para referirse al ejercicio físico, sin embargo, este es definido como *“la práctica de actividad física, planificada y estructurada, repetida e intencionada para mantener y, mejorar la condición física”* y por tanto requiere una voluntariedad no presente en la actividad ¹.

En muchos casos la realización de ejercicio físico es ejercida como un juego o competición, que necesita un entrenamiento y está sujeto a normas, denominándose entonces deporte ¹.

A pesar de los múltiples beneficios, demostrados a lo largo de décadas, que produce para la salud la práctica del ejercicio físico, actualmente la inactividad y los estilos de vida sedentarios están aumentando considerablemente. Se conocen datos de que hoy en día un 60% de la población mundial no realiza ningún tipo de ejercicio físico. Así, el sedentarismo es considerado como uno de los principales problemas de salud pública en el siglo XXI, llegándose a situar en el cuarto factor de riesgo en lo que a mortalidad se refiere; y siendo del total de muertes en todo el mundo un 6% atribuidas al sedentarismo ^{2,3}.

Un aspecto muy importante es que, tanto durante la práctica de ejercicio físico como de deporte, las necesidades energéticas son muchos mayores que en estado de reposo.

En ocasiones a la hora de conseguir una adecuada condición física y prolongar el ejercicio durante más tiempo, o en el caso del deporte mejorar el rendimiento, se acude a diversas sustancias tomadas como suplementación, a las cuales se las adjudicará muchos beneficios ya que se supone que proporcionarán una gran ayuda metabólica.

Para la realización de este trabajo se consultaron las bases de datos de Pubmed, Dialnet y google académico, donde se encontraron la totalidad de los documentos utilizados, en otras bases de datos más específicas de enfermería como Cuiden no se encontraron resultados relacionados con el ejercicio físico y las ayudas ergogénicas.

Los objetivos de este trabajo son:

- Describir el metabolismo del deportista como base para el uso de ayudas ergogénicas.
- Definir algunas de las principales ayudas ergogénicas, su utilidad y función metabólica.
- Describir el papel de la enfermería en la promoción del ejercicio físico y en el control del uso de sustancias ergogénicas en la población activa.

Capítulo 1: Metabolismo del deportista

La utilización de grandes grupos musculares y durante largos periodos de tiempo, supone unos requerimientos energéticos extraordinariamente altos. Para lograrlo, se utilizan las mismas rutas metabólicas y sustratos que en el individuo en reposo; pero sin embargo, todos los aparatos y sistemas corporales se adaptan con objeto de proporcionar la mejor base metabólica, consiguiendo así que la eficacia en la obtención de energía sea muy alta.

Una cuestión a tener en cuenta radica en la existencia de diferentes fibras musculares, con características de contracción y metabolismo muy distintas.

1.1 Tipos de fibras musculares

En el musculo esquelético encontramos dos tipos principales de fibras musculares, las fibras tipo I, lentas, oxidativas o ST, las fibras tipo II, anaeróbicas o FT y además se encuentra un tercer tipo, algo menos definidos y con un papel más secundario, las fibras híbridas.

Fibras tipo I o ST

Estas fibras son las idóneas para la práctica de ejercicios aeróbicos y de larga duración.

Estas fibras van a usar el ATP proporcionado por el metabolismo aerobio, dependiendo de una adecuada presencia de oxígeno, por lo que van a presentar determinadas adaptaciones (capilares tortuosos, altas concentraciones de mioglobina, numerosas y grandes mitocondrias etc.)⁴. El oxígeno aportado a estas células se va utilizar para la oxidación de los sustratos energéticos, principalmente hidratos de carbono y triglicéridos⁵.

Este tipo de fibras musculares presentan una isoforma de cadena pesada de la proteína contráctil, miosina, denominada MHC-B. Se caracterizan por degradar lentamente el ATP y, aunque la velocidad de contracción de estas fibras es la menor, su capacidad temporal de desarrollar la contracción es la más alta, teniendo mayor resistencia muscular⁶.

Fibras tipo II

Este tipo de fibra muscular proporcionara una respuesta más rápida y mayor tensión cuando se activan, poseyendo del orden de tres a cinco más velocidad de contracción que las fibras musculares tipo I, pero por otro lado se fatigan muy fácilmente debido a su metabolismo. Son fundamentales para ejercicios cortos y de alta intensidad⁷.

Para su funcionamiento estas fibras van a depender de la glucólisis como fuente principal para proporcionar energía y al tener una menor dependencia del metabolismo oxidativo no van a presentar tantas ni tan grandes mitocondrias como las anteriores⁶.

Dentro de este tipo de fibras se conocen varios subtipos dependiendo de la mayor o menor utilización de la glucólisis, las IIB que serán las más rápidas con un metabolismo más

glucolítico, y las IIA que son las más lentas y tienen un metabolismo tendente a la oxidación y por otro lado las fibras IIX van a poseer unas características intermedias ⁷.

Otra diferencia radica en la presencia de distintas isomorfos de cadena pesada de miosina: MHC-IIA, MHC-IIX y MHC-IIB ⁶.

Fibras híbridas

La combinación de las distintas cadenas pesadas de miosina mencionadas con anterioridad van a dar lugar a las denominadas fibras híbridas.

Las fibras IIXB y IIBX, van a corresponder a la combinación de las fibras que presenta en su estructura cadenas MHC-IIX y MHC-IIB. Por otro lado, las fibras IIXA y IIBX, van a derivar de las fibras en cuya composición contengan cadenas MHC-IIX y MHC-IIA. Por último se encuentran las fibras IIC y IC, las cuales van a poseer cadenas MHC-IIA e MHC-I ⁶.

Estas fibras, aunque su presencia es escasa, van a permitir al músculo poseer un mayor dinamismo y plasticidad ⁶.

Reclutamiento de las fibras musculares

Durante los ejercicios de baja intensidad, como caminar, la mayor parte de la fuerza muscular será proporcionada por las fibras tipo I, a medida que aumenta la intensidad, como carrera continua, y se requiere más fuerza muscular se suman también las fibras IIA y finalmente en ejercicios donde se necesita fuerza máxima, por ejemplo sprints, serán las fibras IIB las que se activen ⁵ (Figura 1).

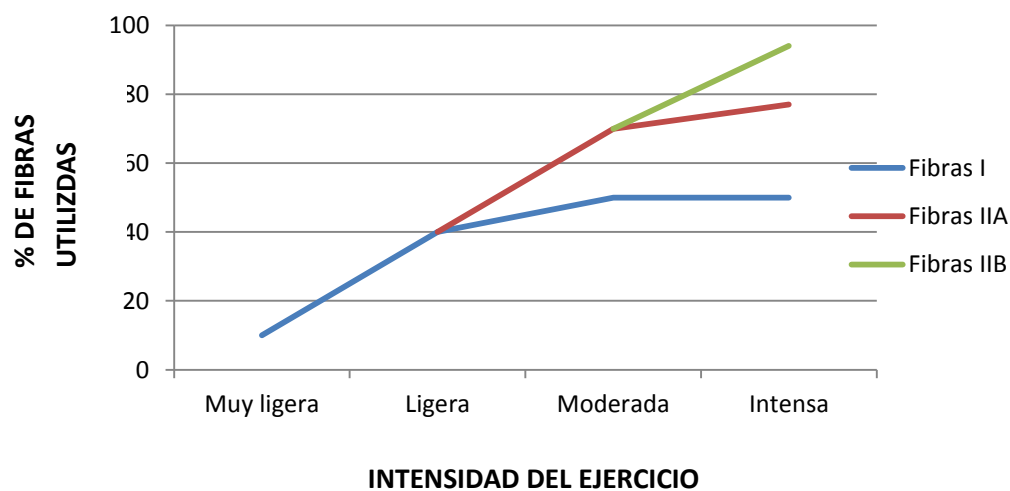


Figura 1: Reclutamiento de las fibras musculares en función de la intensidad. (Adaptada de: Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del esfuerzo y del ejercicio. 6th ed. Barcelona: Paidotribo; 2007.)

A medida que la intensidad aumenta o disminuye las fibras híbridas también juegan un papel importante en la transición. En el siguiente diagrama se observan cómo se realiza la transición de las fibras musculares cuando la intensidad aumenta, el proceso ocurre de manera contraria cuando la intensidad disminuye (Figura 2).

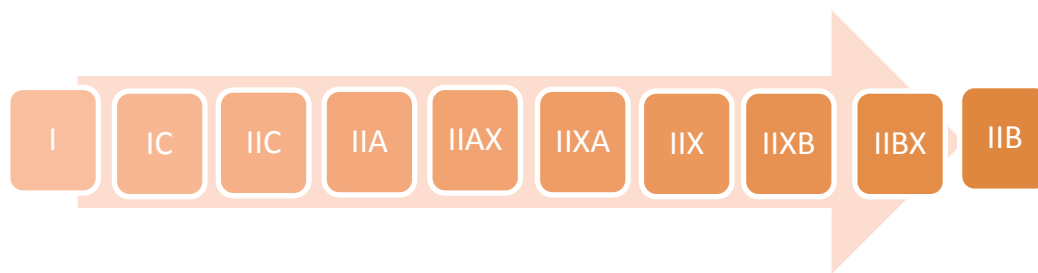


Figura 2: Transición de las fibras musculares de menor a mayor intensidad. (Adaptada de: López Chicharro L, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3rd ed. Madrid: Panamericana; 2006)

Entrenamiento y cambios en las fibras musculares

En todos los músculos del cuerpo humano, hay una mezcla de fibras musculares, existiendo pequeñas variaciones en función del músculo y del individuo. Esto le permitirá adaptarse a distintas necesidades.

Se han realizado estudios en los que se demuestran que los gemelos de corredores de fondo, poseen un 93-99% de fibras tipo I o ST, en cambio en corredores de velocidad el porcentaje de fibras tipo II o FT es el que ascienden hasta un 76 %^{6,5}.

Sin embargo, estas diferencias en cuanto al porcentaje de fibras musculares no está claro si es debido al entrenamiento o a la genética, de hecho los últimos estudios establecen que los porcentajes de fibras ST y FT vienen marcados por los genes y no son alterados sustancialmente por el ejercicio⁶.

Aunque no se observen estos cambios con el ejercicio, el músculo si es capaz de mejorar su resistencia o su fuerza en ciclos de hipertrofia muscular se ha visto un aumento del diámetro de las fibras individuales, como consecuencia del aumento del número de miofibrillas, especialmente en los ejercicios de fuerza⁶.

Ante una exigencia muscular, las fibras musculares van a poder adaptarse, produciéndose estas adaptaciones en los músculos requeridos para dicho deporte.

En deportes aeróbicos se produce un incremento de la capilarización de las fibras y un aumento de la mioglobina muscular, provocando un mayor intercambio de oxígeno desde la membrana de la fibra muscular a la mitocondria. Además, las mitocondrias también aumentan en tamaño y en número, o que incrementa entre un 30 y 40% la capacidad oxidativa⁴.

Todos estos cambios parecen, ya que no está claro, que producen un aumento de la capacidad aeróbica máxima y un incremento del consumo máximo de oxígeno, uno de los parámetros que mejor mide la capacidad física de un deportista⁴.

1.2 Principales sustratos energéticos

Se ha visto que las fibras musculares van a poseer distintos tipos de metabolismo, con él se va a obtener energía, por lo que se pasara a describir los distintos sustratos energético utilizados en el metabolismo muscular.

La fibra muscular esquelética dispone de dos mecanismos de acceso a la energía, bien los depósitos intracelulares o bien la producción inmediata mediante la oxidación de las reservas que llegarán por la vía sanguínea ⁶.

1. Metabolismo de los fosfágenos o moléculas suministradoras de energía inmediata

Estas moléculas se caracterizan por presentar en su composición al menos un enlace fosfato de alta energía.

ATP

Es la fuente de energía más rápida e inmediata. La hidrólisis del ATP es un proceso exergónico mediante el cual se libera parte de la energía química contenida en la molécula, más concretamente en el enlace del tercer grupo fosfato de forma extraordinariamente rápida.

Sin embargo, las reservas de ATP en el músculo son escasas, ya que contiene concentraciones muy bajas, del orden de 5×10^{-6} moles. g^{-1} , de forma que si se pusiese a funcionar 20 kg de músculo se produciría únicamente un desprendimiento de energía de 1 kcal. En caso de esfuerzo máximo se agotaría en medio segundo ⁶.

Fosfocreatina

Debido al rápido agotamiento del ATP, y al hecho de que la maquinaria mecánica sólo usa este tipo de dador de energía, se necesita regenerar el ATP consumido, a través de un depósito de reserva que es otro fosfágeno: la fosfocreatina (PCr) ⁶.

La concentración de la PCr en el músculo es unas cuatro veces mayor que el ATP, por lo que la PCr proporcionará la suficiente energía para reconstruir el enlace de alta energía del ATP siendo considerada como una verdadera reserva energética muscular ^{6,8}.

La energía trasferida desde la PCr para formar ATP es un proceso rápido y anaeróbico catalizado por la enzima Creatin Kinasa (CK), mediante el cual el P de la fosfocreatina es transferido al ADP ⁵.

Durante este proceso la PCr sufre un descenso en su concentración dependiente de la intensidad del ejercicio. Al concluir el ejercicio es rápidamente resintetizada a partir de Creatina y Pi mediante energía procedente de la hidrolisis de ATP, gastándose así parte del ATP recién sintetizado para este fin. Este acoplamiento entre PCr y ATP hace que exista una utilización escalonada de las reservas energéticas. La PCr va manteniendo a lo largo del tiempo las concentraciones de ATP estables y es necesario que la PCr descienda en un 90% para que se aprecie un descenso de las concentraciones de ATP en un 1% ⁶.

2. Metabolismo de los hidratos de carbono

Tras la utilización de los compuestos fosfágenos, la glucosa almacenada tiene que ser movilizada para generar ATP. El proceso por el cual el glucógeno va desprendiendo moléculas de glucosa para ser utilizadas se denomina glucogenólisis ⁶.

- **Glucogenólisis muscular:** La glucosa 6 fosfato procedente del glucógeno muscular entra en la vía de la glucólisis. Debido a la carencia del enzima glucosa 6 fosfatasa, la glucosa no es capaz de abandonar la célula muscular, utilizándose directamente en la glucólisis ⁶.
- **Glucogenólisis hepática:** Tiene la función de mantener los niveles de glucemia adecuados, gracias a la hidrólisis del glucógeno hepático se va a conseguir glucosa. Parte de esta glucosa que sale a la sangre es captada por las células musculares, principal tejido que la capta durante el ejercicio ⁶.

La glucólisis es un proceso anaeróbico, en el cual la glucosa 6-fosfato será degradada a ácido láctico. Este sistema no es capaz de producir grandes cantidades de ATP, pero si suficientes para, que combinado con el sistema ATP-PCR, se pueda lograr fuerza muscular especialmente en ejercicios de alta intensidad y corta duración ⁵.

El ácido láctico producido en la glucólisis anaerobia, se acumula en el músculo y en los fluidos corporales, pero no será tras un periodo de ejercicio cuando los niveles de lactato aumenten de una manera significativa. Este punto se denomina umbral del lactato (LT), pero no es igual para todas las personas, en gente no entrenada aparece a intensidades bajas y en personas entrenadas aproximadamente al 75 % del esfuerzo máximo.

La acumulación de lactato dará lugar a una acidificación de las fibras musculares empeorando las reacciones enzimáticas de la glucólisis e impidiendo una contracción muscular adecuada ya que reduce interacción del calcio en el proceso de contracción ⁵.

3. Metabolismo de los lípidos

Los lípidos son la principal reserva energética y constituyen casi una fuente inagotable de energía. Esta fuente de energía va ganando protagonismo a medida que el ejercicio físico aumenta. Los ácidos grasos que va a usar la célula pueden proceder de los triglicéridos almacenados en el tejido adiposo o en el propio músculo, aunque las reservas de grasa en éste son escasas debido a su poca capacidad de almacenarla ⁶.

Lipólisis y movilización de los ácidos grasos durante el ejercicio. Activación y oxidación de los lípidos.

El aumento de los niveles de adrenalina y noradrenalina y el descenso de los niveles de insulina circulante que se producen durante el ejercicio son los principales estímulos de la lipólisis. La lipólisis de los triglicéridos almacenados se va a llevar a cabo gracias a la enzima lipasa hormono sensible (LHS), que cataliza la degradación de los triglicéridos en diacilglicerol y monacilglicerol, liberándose así al torrente sanguíneo ácidos grasos y glicerol ⁸.

La capacidad de esta lipólisis va a depender también de la concentración de albumina sérica ya que es esta proteína quién va a transportar los ácidos grasos libres, y por otra parte el aumento de flujo sanguíneo al tejido adiposo durante el ejercicio facilitará también este proceso ⁶.

Los ácidos grasos deben sufrir una activación que consiste en la unión al ácido graso de un coenzima A, dando lugar al complejo Acil-CoA. Este debe entrar en el interior de la mitocondria, para ello depende de la carnitina cuya función es la de transportar los grupos acil al interior de la mitocondria ⁸.

4. Metabolismo de las proteínas

En el musculo se encuentra la mayor parte de los aminoácidos libres que están presentes en el organismo. Las proteínas pueden ser degradadas durante el ejercicio, (solo aquellas que no intervienen en el proceso de contracción), utilizándose los aminoácidos para la producción de energía. La oxidación de estos aminoácidos se produce cuando las reservas de glucógeno son mínimas y la energía proporcionada alcanza el 3-10% del total, usando especialmente seis aminoácidos: alanina, glutamato, aspartato y tres aminoácidos de cadena ramificada: valina, leucina e isoleucina ⁶.

Además de esta función energética los aminoácidos tienen una importante función ya que reponen los intermediarios del ciclo de Krebs, los cuales van reduciendo su concentración a medida que el ejercicio progresa; se cree que esta disminución de los intermediarios del ciclo de Krebs es una de las causas de la aparición de la fatiga ⁶.

1.3. Secuencia de utilización de los sistemas

Durante la práctica del ejercicio físico todos los sistemas de producción de energía usados para lograr la contracción muscular van a llevar un proceso encadenado entre los sistemas energéticos a medida que el ejercicio avanza (Figura 3):

- **Energía inmediata:** Es la proporcionada por el sistema ATP-PCR, siendo ideal para ejercicios de muy poca duración y alta intensidad, ya que se agota en poco segundos. Estos fosfágenos se agotan muy rápidamente y para recuperarlo hay que refosforilar el ADP, mediante los sistemas ya comentados anteriormente ⁹.
- **Energía a corto plazo:** Para una rápida recuperación del ATP, el catabolismo de la glucosa va a ser la mejor forma. Este sistema da lugar a la formación de lactato, el cual se acumulara en sangre, si su producción supera a las tasas de aclaramiento y distribución. Estos aumentos de lactato se van a producir especialmente en ejercicios de uno a tres minutos ⁹.
- **Energía a largo plazo:** Tras varios minutos de ejercicio el sistema aerobio va a ser el que entre en funcionamiento. La oxidación de los principales sustratos energéticos glucosa y lípidos, necesitará de una forma directa la participación de oxígeno. Por lo que el cálculo del metabolismo aerobio se realiza a través del consumo de oxígeno (VO₂) ⁹.

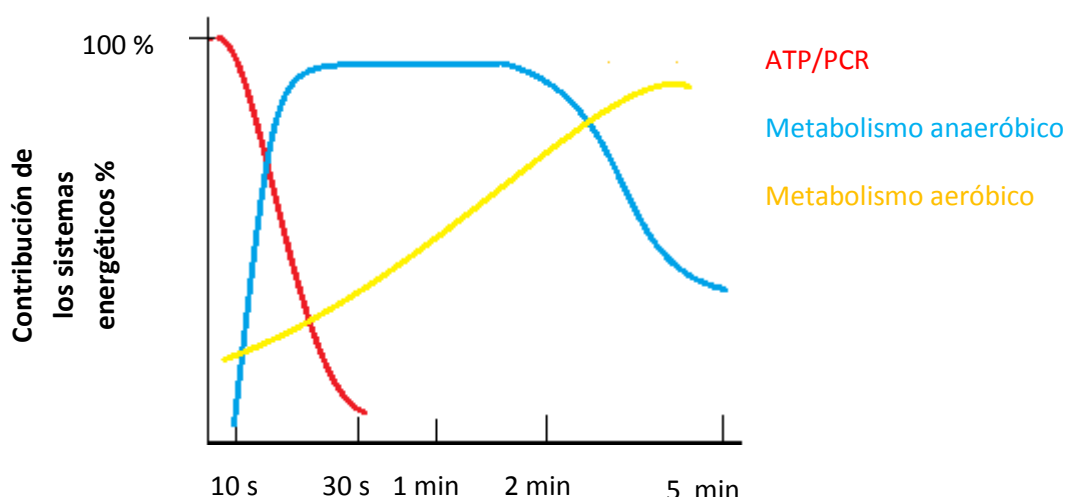


Figura 3: Contribución de los sistemas energéticos según la duración del ejercicio (Adaptada López Chicharro L, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3rd ed. Madrid: Panamericana; 2006)

1.4 Elecciones de sustrato en función de la intensidad y de la duración del ejercicio

Cuando se realiza un ejercicio físico, el sustrato energético utilizado dependerá de la intensidad a la cual se desarrolle. Así, a intensidades muy bajas y en momentos de reposo, los ácidos grasos libres (AGL) van a ser el sustrato energético más utilizado.

A medida que progresamos con el ejercicio a intensidades submáximas la oxidación de los AGL va a ir en aumento. Ahora bien, si se continua incrementado la intensidad la tasa de oxidación de los AGL va a decrecer en favor de los hidratos de carbono, y finalmente, cuando el ejercicio se hace más intenso, el metabolismo anaerobio de la glucosa, ganará en importancia y finalmente los fosfágenos serán utilizados a intensidades máximas¹⁰.

La duración del ejercicio será también un punto a tener en cuenta en la elección de un determinado sustrato energético. Al comienzo del ejercicio los hidratos de carbono será el sustrato utilizado y a medida que este avanza (en los ejercicios de baja intensidad) se producirá un aumento el consumo de las grasas como principal sustrato energético, llegando a un 90% de los sustratos utilizados en ejercicios de muy larga duración⁶. (Figura 4)

A intensidades submáximas la disponibilidad de glucógeno muscular va a ser la clave para que, según el ejercicio avanza, las grasas junto con la glucosa circulante incrementen su aportación energética. Al comienzo del ejercicio las grasas solo suponen un 37% de aporte energético mientras que tras dos horas supone casi un 70% del total, los hidratos de carbono siguen el proceso contrario.

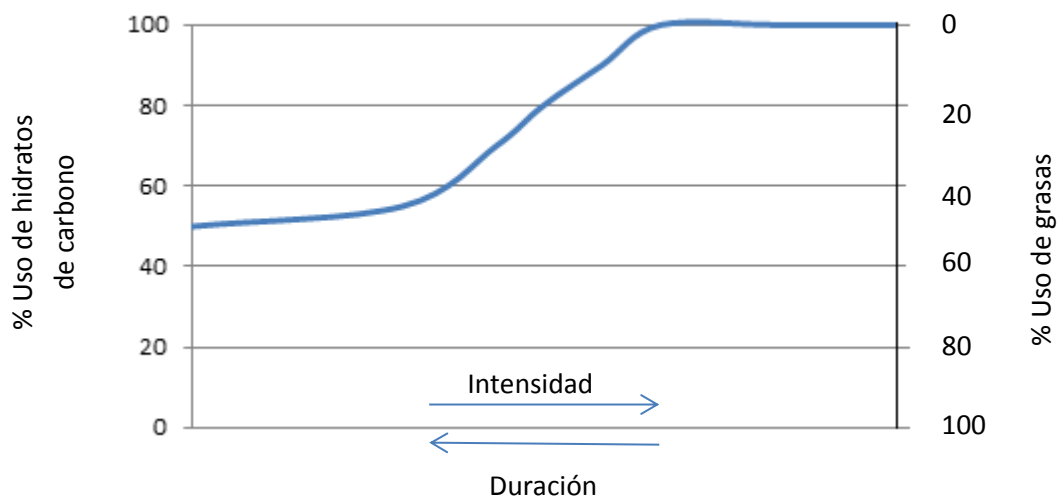


Figura 4: Utilización de hidratos de carbono y grasas en función de la intensidad y la duración (Adaptada López Chicharro L, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3rd ed. Madrid: Panamericana; 2006)

1.5 Consumo de oxígeno como medida de la actividad muscular

Toda actividad física, o aumento en la tasa metabólica por encima de la situación de reposo provocara un incremento en el consumo de oxígeno por el organismo. De todo el organismo el trabajo muscular será el que más oxígeno necesitará. Para conocer la respuesta de consumo de oxígeno se establecen dos situaciones una de ejercicio en el que la intensidad se va aumentado progresivamente hasta conseguir el esfuerzo máximo (ejercicio incremental), y otra en la cual se realiza un ejercicio constante de entre 20 minutos y una hora (ejercicio de carga)⁶.

Concepto de consumo máximo de oxígeno (VO_{2max})

El VO_{2max} se define como la cantidad de oxígeno que el organismo puede transportar, absorber y consumir por unidad de tiempo, aunque realmente el factor limitante es la capacidad de consumir el oxígeno debido a que el oxígeno transportado siempre es mayor al oxígeno utilizado.

El VO_{2max} es un indicador de la capacidad aeróbica de las personas, pero existen variabilidades dependiendo de la dotación genética, edad (alcanzándose un máximo a los 18-25 años), de la composición corporal (a mayor masa muscular mayor VO_{2max}), del sexo (más elevado en varones) y del grado de entrenamiento⁶.

Respuesta al ejercicio incremental

El consumo de oxígeno está directamente relacionado con la intensidad del ejercicio, a mayor intensidad mayor consumo de oxígeno, esta relación lineal se mantiene estable en intensidades submáximas, ya que cuando el sujeto consigue aumentar la intensidad al llegar al

consumo máximo de oxígeno (VO_{2max}), se producirá gráficamente una meseta (Figura 5) ¹¹.

Sin embargo, durante esta prueba una vez se ha superado el umbral del lactato, la relación entre el VO_2 y ejercicio realizado tiende a hacerse curvilínea, el instante en el cual aparece este cambio en la gráfica se denomina “punto de cambio en el VO_2 ”¹¹ (Figura 6).

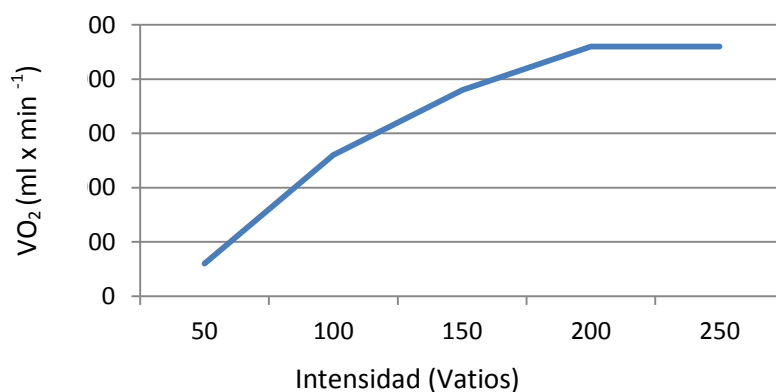


Figura 5: Respuesta del VO_2 durante la realización de un ejercicio incremental. (Adaptada de: Barbany JR. Fisiología del ejercicio físico y del entrenamiento. 2ª Ed. Barcelona Paidotribo; 2010)

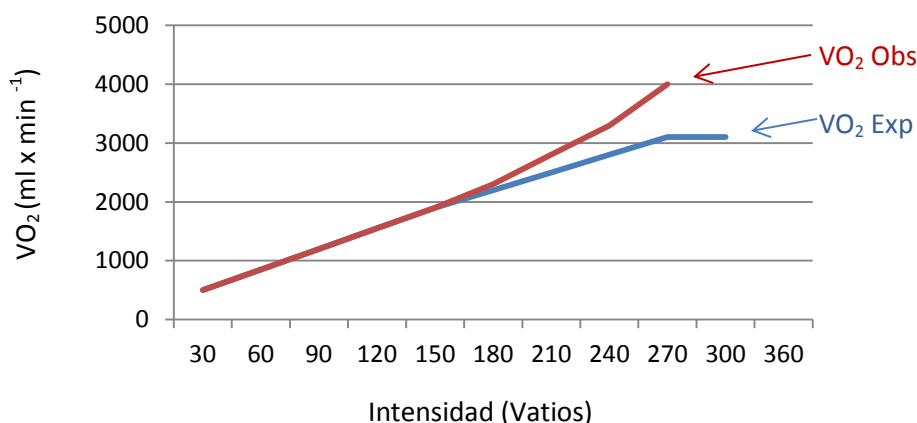


Figura 6: Una vez superado el umbral del lactato la relación se transforma a curvilínea (VO_2 OBS). (Adaptada de: Zoladz Ja, Korzeniewski R. Physiological background of the change point on VO_2 and the slow component of oxygen uptakes kinetics. J Physiol Pharmacol, 2001; 52:167-184)

Respuesta al ejercicio de carga

En ejercicios de carga constante con intensidades que sean inferiores al umbral láctico, al comienzo del ejercicio se produce un aumento exponencial del consumo de oxígeno, desde el comienzo del ejercicio hasta los dos- tres minutos aproximadamente donde este se estabiliza, este fenómeno es denominado componente rápido del VO_2 ¹¹.

En cambio cuando la intensidad es superior al umbral láctico, la cinética del VO_2 se modifica, mostrándose un patrón adicional, retardado, distanciándose del patrón exponencial ¹¹. (Figura 7)

Este componente lento es debido al progresivo reclutamiento de las fibras tipo II o al reclutamiento de unidades adicionales en fibras tipo I y II.

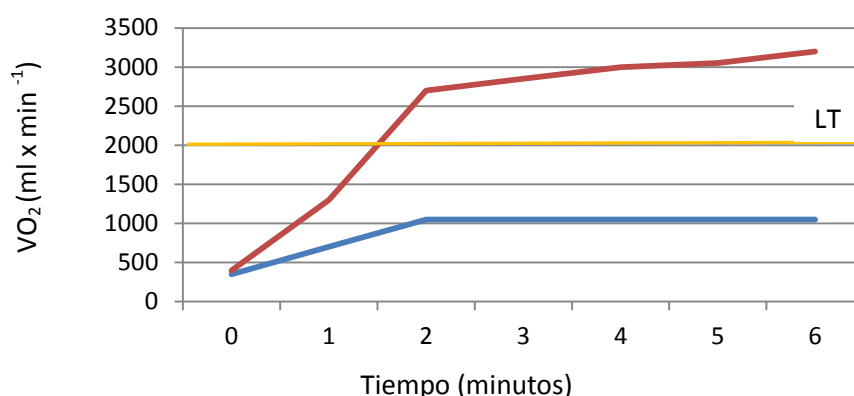


Figura 7: Respuesta del consumo de oxígeno al ejercicio de carga por encima y por debajo del umbral del lactato (LT). (Adaptada de: Zoladz Ja, Korzeniewski R. Physiological background of the change point on VO_2 and the slow component of oxygen uptakes kinetics. J Physiol Pharmacol, 2001; 52:167-184)

1.6 Concepto de fatiga

El término de fatiga es utilizado para describir el momento de cansancio y la pérdida de rendimiento muscular que aparecen durante la práctica del ejercicio físico, siendo uno de los parámetros más importantes a considerar cuando se hable de las ayudas ergogénicas.

En primer lugar uno de los responsables de la fatiga será el agotamiento de la fosfocreatina. Existen estudios que demostraron que en ejercicios de contracción máximas el agotamiento de la fosfocreatina estaba ligado a la fatiga ⁵.

El agotamiento del glucógeno también jugará un papel clave en la aparición de la fatiga. El glucógeno mantiene los niveles de ATP gracias al metabolismo aerobio y anaerobio, pero a medida que se aumenta la intensidad este sufre un descenso brusco. También en ejercicios suaves a medida que avanza la duración el agotamiento del glucógeno provocará fatiga ya el musculo necesita un aporte constante de glucógeno para mantener las demandas ⁵.

Los metabolitos y productos de desecho, especialmente los H^+ liberados por el lactato provocan una acidificación del musculo lo que dificultará los procesos celulares que producen energía y contracción muscular, siendo otro de los elementos que provocarán la fatiga ¹².

Por último, el sistema, nervioso también será otro elemento a tener en cuenta. La fatiga en ocasiones se relaciona con una incapacidad del sistema nervioso de activar las fibras. La

transmisión nerviosa puede verse afectada debido a una reducción de la síntesis y liberación de la acetilcolina, la colinesterasa se puede volver hiperactiva degradando en exceso la acetilcolina o hipoactiva dejando que se acumule demasiada acetilcolina paralizándola la fibra ⁵.

A nivel central, se produce el aumento de los niveles de triptófano y consecuentemente de los de serotonina. El triptófano libre será transportado a través de la barrera hematoencefálica, relacionándose así con la fatiga muscular, alterando la percepción del esfuerzo muscular, somnolencia y falta de atención. También, la carencia de dopamina durante el ejercicio puede dar lugar a un peor control motor, al aumentar los niveles dopaminérgicos del cerebro se demostró una mejora en el trabajo realizado ¹³.

Capítulo II Ayudas ergogénicas y tipos

En el mundo del deporte, tanto de alto nivel como aficionado, los deportistas buscan siempre mejorar su rendimiento y reducir la fatiga por el entrenamiento de múltiples maneras, una de estas es la ingesta de suplementos ergogénicos. Estas ayudas no son algo nuevo y no se limitan al uso de esteroides o estimulantes de los últimos años, sino que desde hace siglos los seres humanos vienen utilizando diversas sustancias para mejorar el rendimiento.

Ya en la antigua Grecia se consumían un tipo de setas para mejorar el rendimiento y los gladiadores romanos ingerían estimulantes de manera continua. Pero no fue hasta el siglo XIX cuando aparece el uso de sustancias catalogadas como dopaje en la actualidad, especialmente en países occidentales; particularmente en el ciclismo donde se empezó a consumir cafeína o glucosa empapada en éter o estrocnina y los sprinters, nitroglicerina. Al finalizar la segunda guerra mundial el mercado se invadió de anfetaminas y rápidamente llegaron al mundo del deporte (provocando la muerte de un ciclista durante el tour de 1967); posteriormente hasta 1976 los esteroides anabolizantes estuvieron permitidos. Tras esto, ya en la década de los 80 se comenzaron a desarrollar otras sustancias, sintetizadas por ingeniería genética como la eritropoyetina recombinante humana, u otros tipos de anabolizantes y estimulantes ⁶.

Actualmente todas estas sustancias están prohibidas, considerándose dopantes, y son perseguidas por las autoridades deportivas (agencia mundial antidopaje: AMA, United States Anti-Doping Agency: USADA etc.) acarreando sanción a aquellos deportistas que las hubiesen consumido y fuesen detectadas en los controles antidopaje tanto en orina como sanguíneos. Tras estas sustancias prohibidas se encuentran sustancias que sin estar prohibidas está restringido su uso, pudiendo aparecer en orina hasta cierto valores en los controles antidoping y por último las ayudas ergogénicas legales, las cuales pueden ser consumidas por los deportistas y usadas en la competición ¹⁴.

Estas últimas ayudas son las que van ocupar el tema central del trabajo, siendo útiles para mejorar el rendimiento. Además junto con unas adecuadas pautas de entrenamiento van a permitir conseguir una buena condición física general, mejorando notablemente el rendimiento y reduciendo la fatiga.

Desde el punto de vista literal una sustancia es ergogénica cuando produce trabajo o tiende a incrementar el trabajo ⁶. El proceso de ergogénesis significa producción de energía, por lo que si una determinada sustancia mejora el rendimiento a través de la producción de energía se denominara ergogénica ¹⁵.

En el ámbito deportivo una ayuda ergogénica, presenta una definición más amplia y es cualquier técnica o sustancia empleada con el fin de mejorar la utilización de energía, incluyendo su producción, control y eficiencia. Cualquiera de ellos esencialmente va a mejorar alguna cualidad como la fuerza, velocidad o coordinación, y ayudan a rebajar la ansiedad, y además mejoran el control de peso, el aumento de agresividad, la actitud competitiva, demora la fatiga y acelera la recuperación ¹⁵.

1.1 Tipos de ayudas ergogénicas

Según la definición anterior pueden encontrarse multitud de ayudas ergogénicas que se clasifican según su naturaleza o forma de acción:

- **Ayudas mecánicas y biomecánicas:** estas ayudas van encaminadas a las características de los materiales utilizados en los distintos deportes, desde zapatillas deportivas, bañadores de competición, bicicletas, pértigas etc. ^{16, 6}
- **Ayudas psicológicas:** se basan en técnicas y estrategias de entrenamiento psicológico que ayudan a mejorar el rendimiento y a optimizar la energía, – de técnicas como la hipnosis, control del estrés, control de la ansiedad...
- **Ayudas farmacológicas:** sustancias químicas introducidas en el organismo para mejorar la respuesta del cuerpo, como la cafeína y la efedrina ¹⁶.
Decir que casi la totalidad de estas ayudas farmacológicas, exceptuando la cafeína y la efedrina, que está regulado su uso, están reconocidas como sustancias dopantes.
- **Ayudas fisiológicas:** sustancias que mejoran el funcionamiento orgánico, como el bicarbonato sódico o el citrato sódico. Controlando los efectos negativos causados por la práctica del ejercicio ¹⁶.
- **Ayudas nutricionales:** A partir de la manipulación de la dieta podemos conseguir grandes mejoras en el rendimiento. Actualmente hay una gran cantidad de suplementos nutricionales (proteínas, hidratos de carbono, aminoácidos de cadena ramificada (BCAA), ácidos grasos, vitaminas, minerales...) ¹⁶. La cafeína y la efedrina en muchos casos se establecen dentro de la dieta del deportista, pudiéndose también incluir en este campo.

De todas ellas, las ayudas nutricionales son las que en los últimos años más han aumentado su uso. La amplia gama de productos incluidos en esta categoría y los datos científicos, en algunos casos poco comprobados han creado bastante controversia, por ello, en este trabajo

se va a estudiar una clasificación de las clases de ayudas nutricionales existentes para posteriormente realizar un estudio de las más utilizadas, indicando su función fisiológica y su modo de uso.

Existe una subclasificación de las ayudas nutricionales en los siguientes tipos ¹⁵:

1. Sustancias que reponen el gasto hídrico

- Bebidas Isotónicas y agua

2. Concentrados de nutrientes y su clasificación según su naturaleza química los podemos dividir en:

- Compuestos hidrocarbonados
- Compuestos lipídicos: Ácidos grasos omega 3 y glicerol
- Compuestos proteicos y derivados nitrogenados: Proteínas, Glutamina, BCAA, L-arginina, L-Ornitina y L-Lisina, Acido aspártico, creatina, creatinina, L-carnitina, Taurina, Colina, Inosina.

3. Sustancias modificadoras del pH

- Bicarbonato Sódico
- Aspartato de potasio y de magnesio

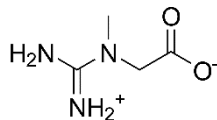
4. Macrodosis de vitaminas y minerales.

La suplementación con vitaminas y minerales, si se sigue una dieta equilibra y de suficiente aporte no tiene sentido, pudiendo incluso tener efectos adversos y trastornos clínicos en caso de hipervitaminosis.

5. Miscelánea

Jalea real, polen, lecitina de soja, el ajo, el germen de trigo, son algunos suplementos que han sido utilizados por deportistas como vigorizantes y fortificantes en tiempo de fatiga. No hay estudios claros que demuestren que ciertos de estos compuestos produzcan una mejora significativa en el rendimiento, pero si son usados sin control médico pueden producir diarreas, o alergias.

1.2 Estudio de la creatina



La creatina, denominada también como ácido guanidinactico, N-metil-N-guanilglicina o ácido (alfa-metilguanido) acético, es una pequeña molécula con alto contenido en nitrógeno. Fue descubierta en 1832 por Chevreul y tuvieron que pasar casi 160 años para que se realizaran los primeros estudios para posteriormente comenzar a comercializarse en 1992, aumentando considerablemente su popularidad en los últimos años ^{17, 14}.

La creatina la podemos encontrar en alimentos de origen animal, y la suplementación con monohidrato de creatina es una ayuda ergogenica nutricional que va a ayudar a mejorar el rendimiento, ya que aumentará la creatina total del musculo ¹⁸.

El 95% de la creatina corporal se encuentra en el musculo esquelético, y dentro de él está un 40% libre y un 60 % en forma de PCr. La creatina libre va a ser la clave para la recuperación de la fosfocreatina, ya que se conoce que la PCr va a comenzar a disminuir a los dos segundos de comenzar el ejercicio máximo ^{15, 18}.

Como se ha visto anteriormente, la PCr se utilizara para lograr una veloz resíntesis de ATP, por lo que la disponibilidad o no de esta molécula va a repercutir en el rendimiento de ejercicios cortos y de la una alta intensidad ¹⁴.

Este aumento de la creatina proporcionara numerosos efectos positivos en el deportista:

1. En el músculo va a retrasar la aparición de la fatiga y va propiciar la recuperación muscular durante series repetidas de alta intensidad, también estudios demuestran que va a aumentar la fuerza muscular y la potencia así como un incremento de la masa muscular, aumentado la masa libre de grasa. Este aumento de la fuerza y de la potencia muscular está relacionado con el aumento en la capacidad para alcanzar altas tasas de resíntesis de ATP ¹⁶.
2. Como consecuencia también va a mejorar la disposición de energía mejorando así los procesos de regeneración después de los entrenamientos ¹⁵.
3. Además la creatina tiene capacidad para tamponar los iones hidrogeno responsables de la bajada del pH del musculo, evitando la acidosis y reduciendo también la fatiga ¹⁵.
4. Por último va a facilitar la liberación de iones de calcio desde el retículo sarcoplásmico, agilizando los procesos de relajación-contracción, haciendo que los puentes entre la actina y la miosina se rompan y se formen más rápidamente, aumentado la eficiencia del trabajo ya que la célula mejora su capacidad de volver a excitarse ¹⁶.

También la creatina presenta algún inconveniente:

1. Su consumo se asocia, a corto plazo, con un aumento de peso entre 600g y 2 kilos debido a la retención hídrica que produce ^{18, 14}.
2. No puede usarse juntamente con la cafeína, ya que sería contraproducente porque esta reduce la resíntesis de la PCr durante la recuperación ^{18, 16}.

A largo plazo no se conocen problemas relacionados con la salud del deportista, solo hay estudios que demuestran que periodos de suplementación hasta ocho semanas no han aparecido problemas de salud ¹⁶, pero se recomienda una supervisión y llevar un plan organizado de suplementación, siguiendo los protocolos de administración segura para lograr un significativo aumento de los niveles de creatina muscular.

Estas ganancias se consiguen si la suplementación se realiza en periodos de 1 a 12 o más semanas. Hay estudios que demuestran que una carga de creatina en bajas dosis o por problemas de forma no ha sido útil para lograr mejoras en el rendimiento ^{16, 14}.

Se han establecido distintos protocolos para realizar una adecuada suplementación con creatina:

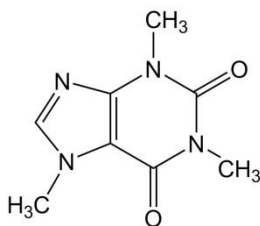
- **Protocolo de carga rápida:** Se lleva a cabo durante cinco días, tomando una dosis de 20-30 gramos en función del peso muscular del deportista, repartido en cuatro tomas diarias ¹⁸.
- **Protocolo de carga lenta:** Se lleva a cabo durante cuatro semanas, administrando 3 gramos monodosis al día ¹⁸.
- **Fase de mantenimiento:** Se tomará una dosis diaria después de entrenar o después de comer (en caso de no entrenar) de 0.03g/kg ¹⁴.

Se conoce además que la toma de la creatina asociada a unos 50-100g de hidratos de carbono de bajo índice glucémico puede potenciar el efecto anabólico de la creatina, ya que al aumentarse los niveles de insulina se aumenta la permeabilidad de la membrana muscular a la creatina ¹⁸.

La eficacia de la suplementación con creatina, sólo se ha evidenciado en aquellos planes de entrenamiento que llevan a cabo ejercicios de corta duración y muy alta intensidad con periodos largos de una intensidad menor y que impliquen repetir esfuerzos máximos de muy corta duración con periodos de recuperación breves ¹⁶.

- Al inicio de entrenamientos de resistencia aeróbica, con el fin de aumentar el peso magro.
- En todos deportes de esfuerzos máximos y cortos y con breve recuperación (levantamiento de pesas, velocidad, saltos etc.).
- Deportes con patrones de trabajo intermitentes (fútbol, baloncesto, tenis etc.).

1.2 Estudio de la cafeína



La cafeína (1,3 trimetilxantina), se trata de una purina alcaloide perteneciente a la familia de las xantinas metiladas. La cafeína se puede encontrar en distintas bebidas y alimentos, como el café, el té, chocolate, bebidas de cola, energéticas etc.¹⁸

La cafeína presenta una fácil absorción oral¹⁸, alcanzando un pico en plasma a los 15-120 minutos, con una vida media de 5 a 6 horas. Gracias a su naturaleza liposoluble, la cafeína puede atravesar la barrera cerebral, y es metabolizada por el hígado transformándola en paraxantina, teofilina y teobromina¹⁹.

La eficacia ergogenica de la cafeína se base en los siguientes efectos sobre el ser humano:

A nivel metabólico

1. Antagonista de la adenosina: la cafeína va a bloquear los receptores de la adenosina, inhibiendo competitivamente su acción, en especial los A1 situados en el tejido adiposo. De tal modo que al bloquear estos receptores va evitar el efecto inhibidor de la adenosina sobre la adenilato ciclasa (enzima responsable de la formación de AMPc)^{19, 20}.

2. Incrementa la oxidación de los lípidos: va a aumentar el uso de las grasas provocando un descenso del uso del glucógeno, cambia la preferencia del glucógeno por las grasas gracias a que incrementa la actividad de la hormona lipasa sensible (HLS) inhibiendo de este modo la actividad de la glucógeno fosforilasa¹⁹.

3. Actúa como un inhibidor no-competitivo selectivo de las enzimas fosfodiesterasas: estas enzimas van a romper los enlaces de moléculas como el AMP cíclico, por lo que inhibiendo la actuación de las enzimas fosfodiesterasas, el AMPc va a poder activar la lipólisis activando a su vez la HLS. Además puede activar la proteína Kinasa A la cual sucesivamente va a fosforilar un gran número de enzimas involucradas en la glucólisis y en la lipólisis¹⁹.

4. Ahorro en la utilización del glucógeno: En ejercicios de resistencia (aeróbicos) estudios demuestran que va haber una mejora significativa en el rendimiento, retrasando la aparición de la fatiga en ejercicios submáximo a un 70-80% de VO_{2max} . Poniendo un ejemplo en un ejercicio de una intensidad de 85% de VO_{2max} se podría conseguir una mejora en torno 44-51% la resistencia a la fatiga⁶. La verdadera causa del retraso en la aparición de la fatiga, es del ahorro de glucógeno durante la primera parte del ejercicio de larga duración. Un estudio realizado por Spriet y col (1992) demuestra que los sujetos que ingirieron cafeína pedalearon durante más tiempo, y se redujo en un 55% la glucogenólisis muscular en los primeros 15 minutos del ejercicio, por lo tanto este glucógeno ahorrado será utilizado en la parte final del ejercicio coincidiendo con la extensión del ejercicio respecto a los que no ingirieron cafeína²⁰.

5. Incrementa la acumulación de glucógeno post-ejercicio: La cafeína incrementa la tasa de resíntesis de glucógeno tras el ejercicio, en este punto aún hay controversia y se necesitan más estudios, lo que sí está bastante claro es que la toma de cafeína asociada a hidratos de carbono incrementara la tasa de resíntesis de glucógeno más que si estos se toman solos¹⁹.

A nivel muscular

1. Movilización del calcio intracelular: Esta demostrado que la cafeína mejora la liberación del calcio desde el retículo sarcoplásmico, e inhibe la recaptación, mejorando de esta manera la fuerza de contracción durante ejercicios submáximos tanto en consumidores habituales de cafeína como en los que no ¹⁹.

2. Estimular las bombas de K y Na de las fibras musculares no activas: lo que va a suponer una disminución de la concentración de K^+ en sangre, con el consiguiente retraso en la aparición de la fatiga ²⁰.

A nivel central

Provocara una estimulación del sistema nervioso central. Un aumento de la transmisión neuromuscular y de la excitabilidad neuronal bajando el umbral de descarga de las neuronas motoras o reduciendo la acción inhibitoria de la adenosina sobre los ritmos de descarga, esto va a provocar que después de ingerir la cafeína se produzca un descenso en la percepción del esfuerzo y una mayor capacidad para realizar un trabajo manteniéndose la misma percepción de esfuerzo ²⁰.

La efectividad de la cafeína ha sido demostrada tanto en pruebas aeróbicas como anaeróbicas.

En ejercicios cortos y de alta intensidad, donde predomina el metabolismo anaeróbico también se destacan pequeñas mejoras en el rendimiento, manifestadas como incremento del VO_{2max} de la potencia anaerobia máxima. Woolf y col (2008) demostraron que una dosis de 5mg / kg de peso se aumentaba la fuerza desarrollada en el test de pres de banca (ejercicio para el musculo pectoral mayor con levantamiento de pesas) y un mayor pico de potencia en el test de Wintage (realización de un esfuerzo máximo de 30 segundos). Además, Glaister y col. (2008) demostraron que con la misma dosis de cafeína en un test de múltiples sprints también mejoraban el rendimiento físico anaerobio ²⁰.

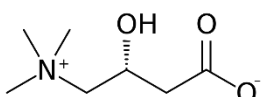
Los principales efectos negativos sobre la salud que pueden producir la cafeína a dosis altas y que hay que considerar son los siguientes:

1. Insomnio: Puede afectar a la calidad y cantidad del sueño ²⁰.
2. Trastornos gastrointestinales: diarreas, reflujo gastroesofágico ^{15, 18}.
3. Temblor y síntomas de ansiedad: Se da en personas muy sensibles a estas sustancias, incluso pueden aparecer cuadros de alucinaciones ^{18, 20}.
4. Efecto diurético: Debido a este efecto diurético podría pensarse que ocasiona problemas en deportes de larga duración o durante el ejercicio físico en climas calurosos y húmedos, pero no es así el efecto diurético se produce en reposo, por lo que durante la práctica del ejercicio no provocará estos problemas. Estudios han demostrado que el volumen urinario no variaba entre sujetos que habían consumido cafeína y los que no la había consumido ^{18, 20}.
5. Elevación de la tensión arterial: puede producirse una elevación de la tensión arterial sistólica y en menor medida de la diastólica. Durante el ejercicio al 30-70% del VO_{2max} se

objetiva un aumento de la tensión sistólica en unas 7-8 mm Hg y en la diastólica de unos 4 mm Hg ²⁰.

La dosis de cafeína adecuada para que resulte efectiva como ayuda ergogenica está entre los 3-6 mg/kg, aproximadamente 200-300 mg y debe ser administrado en forma pura, ya que en forma de café o infusiones los resultados son peores. Con dosis superiores a 9 mg/kg empezarán a aparecer efectos adversos mencionados ¹⁸.

1.3 Estudio de la L-Carnitina



La L-Carnitina (betahidroxil [gamma-N-trimetilamonio]) es un aminoácido que se encuentra en la carne de cordero y de ternera y en menor medida en lácteos, y en bajísimas cantidades en algunas frutas, vegetales y cereales. Es sintetizado además por el hígado y los riñones a partir de la lisina y la metionina ^{15, 18}.

La L-Carnitina actúa como elemento clave en el paso de los ácidos grasos de cadena larga a través de la membrana mitocondrial, aumentando la oxidación de estos ácidos grasos provocando un ahorro en el consumo de glucógeno ^{15, 16, 18}.

La carnitina para su función requiere la acción de distintas enzimas. Estas están situadas en la membrana mitocondrial en dos formas. En la membrana externa una enzima convierte el acil-CoA en acil-carnitina, uniendo el grupo acil a la carnitina, debido a que el acetil Co-A es impermeable a la membrana mitocondrial. Posteriormente, ya en la matriz mitocondrial el complejo acil-carnitina se vuelve a transformar en acil-CoA, ya que el grupo acil se libera de la carnitina y se vuelve a unir la CoA. De esta forma la carnitina permite el paso del grupo acil sin que pierda su nivel energético, para que así sea sometido a la β -Oxidación ⁶.

Otra de las funciones de la L-carnitina es que indirectamente será evitar la acumulación de acetil-CoA en la célula al producir acilcarnitinas facilitando la producción de ATP, ya que en ejercicios de alta intensidad a los 10 minutos la carnitina en el musculo se distribuye en un 40% en carnitina libre y un 60% en cadenas cortas acilcarnitina ^{15, 18, 21}.

Su ayuda ergogénica se basa en:

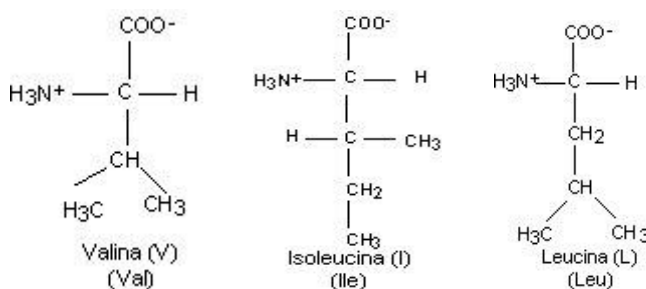
1. En ejercicios de larga duración al aumentar el metabolismo de los ácidos grasos, y ahorrar glucógeno, va a suponer una mayor disponibilidad de energía durante el ejercicio ^{18, 21}.
2. Al reducir la formación intramitocondrial de acetil CoA va a permitir una elevada actividad de la piruvato-deshidrogenasa minimizando la acumulación de lactato y reduciendo así la fatiga ²¹.
3. Promueve la oxidación de los aminoácidos de cadena ramificada ¹⁸.

Respecto a esta sustancia hay controversia ya que diversos estudios han demostrado que si bien se produce la redistribución de carnitina y acilcarnitina en la célula, no indica que se pierda carnitina durante el ejercicio, ya que la concentración de L-Carnitina durante el ejercicio

permanece constante, lo que supondría que no actúa como quemador de grasa, ya que su aporte no acelera el consumo de éstas ni en estado de reposo ni durante el ejercicio. Por lo tanto no tiene efecto ergogénico claro ^{15, 18}.

La dosis adecuada de carnitina es de unos 750-1000 mg de L-carnitina 60 minutos antes de la práctica del ejercicio, nunca más de 2000mg ya que éste es el límite seguro. La forma de tomar la carnitina tiene que ser en forma de L-carnitina ya que es la única forma activa, la D-carnitina tiene efectos tóxicos ¹⁸.

1.4 Estudio de los BCAA (Branched Chain Amino-Acids)



Los BCAA, son los aminoácidos de cadena ramificada, los cuales están compuestos por la Valina, Leucina e Isoleucina.

Estos aminoácidos no pueden ser sintetizados por el propio organismo por lo que deben ser proporcionados

a través de la dieta. Los principales alimentos donde se encuentran estos aminoácidos son las carnes, aves, pescado, huevo, leche y queso, que van a proporcionar unos 15-20g de BCAA por 100g de proteína ²².

La primera reacción en el catabolismo de los BCAAs en una reacción reversible de transaminación donde el BCAA va a producir BCKA (a-ceto ácido de cadena ramificada) y posteriormente un reacción irreversible de descarboxilación oxidativa del BCKA para formar Coenzima A, catalizado por la a-ceto ácido de cada ramificada deshidrogenasa (BCKDH) ²³.

La regulación de esta enzima va a ser clave para la ruta catabólica de los BCAAS, esta regulación se basa en un ciclo de fosforilación y desfosforilación donde la BCKDH Kinasa va a inactivar al complejo BCKDH por un proceso de fosforilación de uno de sus componentes y la BCKDH fosfatasa va a reactivar este complejo por la desfosforilación ²³.

De los tres aminoácidos de cadena ramificada, la leucina es el más importante, ya que tras su transaminación va a dar lugar a α -cetoisocaproato (KIC), el cual es un potente inhibidor de la Kinasa. Cuando el KIC se acumule en los tejidos va a promover el catabolismo de los BCAA por la activación del complejo BCKDH ²³.

Durante el ejercicio este complejo es activado debido que tras 85 minutos de ejercicio la actividad de la BCKDH Kinasa desciende, y además se ha demostrado que durante la contracción muscular se aumenta la concentración de KIC ²³.

El catabolismo de los BCAA va a tener los siguientes efectos sobre el rendimiento:

1. Si se administran antes de comenzar el ejercicio va a permitir alcanzar unos niveles altos en tejidos, evitando la ruptura endógena de proteínas de los músculos.

2. La ingesta de BCAAS se ha visto que producen efectos anabólicos en el aumento de la masa magra ²⁴.
3. El aumento los niveles plasmáticos de BCAA durante el ejercicio va a reducir el transporte de triptófano al cerebro y la síntesis de serotonina. La serotonina se cree que interviene en la fatiga central, por lo que los BCAA también nos van a ayudar a mejorar el rendimiento cognitivo y el esfuerzo percibido ^{22, 25}.

Diversos estudios han demostrado que los BCAAs no van a tener ningún efecto positivo sobre ejercicios aeróbicos, de resistencia ^{26, 27}.

El aumento del consumo de BCAA en cantidades que doblen la cantidad diaria recomendada puede ser especialmente útil en ejercicios de fuerza, y además no hay evidencia actual de que vayan a producir problemas para la salud, a no ser que el sujeto que lo ingiera tenga alguna enfermedad renal ²⁴.

La cantidad diario recomendada es de 0.03g/kg de peso y por hora o bien 2-4g por hora ingerido durante el ejercicio y el proceso de recuperación. Dosis grandes (30g día) son toleradas, pero pueden ser negativos para el rendimiento debido a mayor producción de amonio ²².

1.5 Estudio del bicarbonato sódico (HCO_3^-)

Durante la práctica del ejercicio físico se producen constantemente hidrogeniones. El catabolismo de los hidratos de carbono a través de la vía anaerobia produce lactato, a través del metabolismo de lípidos se liberan cuerpos cetónicos y las proteínas liberan ácido fosfórico y ácido sulfúrico; y, además, el CO_2 producido se combinara con el agua formando ácido carbónico (H_2CO_3), el cual es sumamente inestable, liberando un protón (H^+) y transformándose en bicarbonato (HCO_3^-) ²⁸.

La sangre, en condiciones de reposo, tiene un pH básico, 7.40, pero durante el ejercicio este valor puede disminuir considerablemente debido a que los H^+ producidos en el metabolismo pasan a la sangre. Gracias a los sistemas tampón o amortiguadores ácido base se va a conseguir mantener los valores de pH sanguíneos bastante estables, en intensidades que no superen el 50% del consumo máximo de oxígeno. A intensidades superiores al 50%, el pH comienza a descender y por tanto la sangre se hace más ácida ²⁸.

El bicarbonato es el principal sistema tampón, imprescindible para mantener un correcto equilibrio ácido-base. Ya que este actuará como receptor de protones y el ácido carbónico actuará como donador de protones. Así podemos estipular que si ingerimos bicarbonato sódico, va a actuar como una base pudiendo incrementar el pH sanguíneo haciéndolo más alcalino ^{5, 28}.

Esta ingesta de NaHCO_3 producirá los siguientes efectos positivos:

1. Aumentará el pH extracelular creando un gradiente de pH favorable a la salida de lactato e iones H^+ intracelular, mejorando el metabolismo muscular. Así en caso de ejercicios intensos permitirá evitar la caída del pH intramuscular a niveles críticos ²⁸.
2. Incrementando los niveles de bicarbonato en sangre proporcionará una capacidad extra de amortiguación que permitirá mayores concentraciones de lactato en sangre, retrasando la fatiga ²⁸.

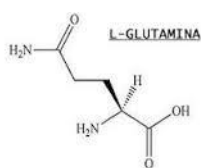
Con la dosis adecuada los efectos secundarios que pueden aparecer son de carácter bastante débil, como molestias gástricas o diarreas, pero con dosis superiores a la marcada pueden aparecer alcalosis severa, espasmos musculares o irritabilidad, siendo estas de mucha mayor gravedad por lo que se deberá llevar un estricto control en el consumo de bicarbonato ⁶.

La ingesta de bicarbonato sódico como ayuda ergogenica parece ser efectiva especialmente en ejercicios comprendidos entre 1 y 7 minutos, no siendo efectiva en aquellos ejercicios en los que la extenuación del deportista aparezca antes del minuto de duración debido a que los ejercicios de menor duración son demasiado breves para permitir que muchos H^+ se acumulasen en sangre ^{5,6}.

Estudios como el de García Caioya, 2003, establecieron una mejora en el rendimiento en series repetidas de 300 metros al 80-83 % de su mejor marca pudiendo realizar mayor número de series en aquellos deportistas que ingirieron dicha sustancia.

La dosis de bicarbonato sódico es fundamental para lograr que esta sustancia sea efectiva, estableciéndose que la toma efectiva es de 0.3 g/kg de masa corporal y tomando unos 90 o 120 minutos previos al comienzo del ejercicio ^{5,28}.

1.6 Estudio de la glutamina



La glutamina es un aminoácido no esencial, el organismo puede sintetizarlo a partir de otros aminoácidos como la valina, la isoleucina o el ácido glutámico ²⁹.

Aunque este aminoácido se considere como no esencial en algunas situaciones se le cataloga como “semi-esencial” o “esencial condicionado” ya que en ocasiones donde el consumo excede a la síntesis, como traumatismos, infecciones, o el entrenamiento intenso, se convierten en esencial ^{6,29}.

La glutamina la podemos encontrar en la mayoría de los alimentos en alto contenido en proteínas (lácteos, carnes, cacahuets, almendras, soja, pavo y las alubias secas), pero incluso en deportistas que ingieran dietas con elevado contenido en proteínas, en ocasiones se necesitan con regularidad aportes extra de glutamina ^{6,29}.

El principal rol de la glutamina está enfocado hacia la síntesis de proteínas, se conoce que cuando los niveles de glutamina descienden a nivel muscular, va disminuir también la síntesis proteica, y precisamente cuando aumentan los niveles de dicho aminoácido también lo van a hacer las tasas de síntesis proteica por parte del musculo y también se estimula la síntesis

proteica en todo el organismo, va a detener también la tasa catabólica producida por el ejercicio, produciendo así un incremento de la masa muscular magra ²⁹.

La síntesis proteica y el efecto antiproteolítico proporcionaran los siguientes efectos:

1. Va a mejorar la recuperación de la fibra muscular y retrasando así la aparición de la fatiga ¹⁸.
2. Contribuye a la recuperación del glucógeno muscular tras los entrenamientos, una vez que se han reducido o agotado las reservas de glucógeno. Diversos estudios han mostrado que la ingesta de glutamina con un polímero de glucosa va a propiciar la acumulación de glucógeno en el hígado y en musculo ^{6, 29}.

Ademas de estas funciones, la glutamina es una sustancia esencial para la correcta función de las células del sistema inmunológico, para la correcta renovación de las células de la mucosa del aparato digestivo, pancreático y otras células de crecimiento rápido, y desempeña un papel fundamental en la regulación del equilibrio acido-base por el riñón ³⁰.

Si la recuperación de los niveles de glutamina es inadecuada, los efectos pueden ser negativos y acumulativos dando lugar a:

1. Síndrome de sobreentrenamiento.
2. Problemas en el funcionamiento en el sistema inmune, digestivo o sobre el sistema de regulación acido-base realizado por el riñón ³⁰.

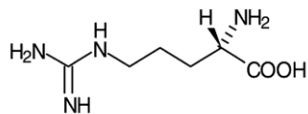
En ejercicios prolongados y/o de alta intensidad, los niveles de glutamina en sangre aumentan en los primeros momentos, debido a la liberación de las reservas orgánicas. Pero a continuación, en los periodos de recuperación sufre un importante descenso en sus niveles ³⁰.

Por todo esto, la suplementación con glutamina sería útil para prevenir un síndrome de sobre entrenamiento, evitando la disminución de división celular de las células del aparato digestivo, la disminución de la función del sistema inmune y mantendrá los niveles de este aminoácido en el musculo, evitando la pérdida de masa muscular ³⁰.

La glutamina se comercializa en forma de polvo o cápsulas para la ingesta oral, los protocolos indican que se debería tomar, en ayunas, una hora antes del entrenamientos y tras el mismo para evitar la degradación proteica y facilitar la síntesis. La dosis habitual se marca en unos 40-50 miligramos por kilogramo de peso corporal y día, especialmente en ejercicios con una alta exigencia catabólica ^{6, 18}.

Debe tomarse con precaución en aquellas personas con sensibilidad al glutamato sódico. De todos modos, los efectos secundarios de la ingesta de glutamina a corto plazo son mínimos y apenas se conocen los efectos que pueden causar a largo plazo ¹⁸.

1.7 Estudio de la L-arginina y óxido nítrico



La L-arginina se considera un aminoácido esencial condicionado, ya que en situaciones donde las necesidades proteicas son muy elevadas, va a ser muy sensible ya que su síntesis a partir de citrulina, puede estar comprometida ¹⁸.

Este aminoácido se va a encontrar en alimentos ricos en proteínas, y va a presentar funciones de bastante relevancia en las personas que practiquen ejercicio físico, ya que aparte de ser necesaria para la síntesis proteica además va a regular la producción de las mismas ³¹.

Por otro lado la arginina va a ser un potente precursor para la producción del óxido nítrico (NO) ²⁴. La formación de NO se realiza a través de una reacción enzima catalizada por la óxido nítrico sintasa (NOS) la cual transformara la L-arginina en NO. En el organismo se han descubierto tres isoformas de NOS: tipo I o neuronal constitutiva, tipo II o inducible y tipo II o endotelial constitutiva ³².

De estos tipos en el musculo esquelético encontramos la tipo I y III, encontrándose de una manera uniforme tanto en las fibras lentas como en las rápidas ³².

El aumento de las acciones del NO durante el ejercicio parece ser debidas al incremento de los niveles de calcio en la fibra muscular durante el ejercicio ³².

La suplementación con L-Arginina tendría sentido ya que el NO actúa como:

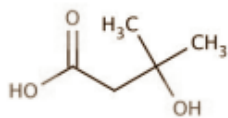
1. Un potente vasodilatador.
2. Reducir la concentración sanguínea de lactato producida por el ejercicio.
3. Puede ayudar además en diversas patologías cardiovasculares a la corrección de la disfunción endotelial ¹⁸.

Por otro lado, un aumento excesivo en los niveles de NO puede causar fatiga debido a que intervienen los procesos de excitación-contracción puede reducir la permeabilidad del retículo sarcoplásmico e inhibe la creación de puentes cruzados entre la actina y la miosina ³².

Los últimos estudios sobre la arginina establecen que no produce ningún cambio beneficioso en el metabolismo ni en parámetros hormonales, y que no parece tener un efecto sobre los niveles de NO en sangre ni mejorar el consumo de oxígeno, estando su utilización en entredicho con necesidad de profundizar más y conocer más efectos en distintas poblaciones y ejercicios ^{33, 34, 35, 36}.

En algunos casos la L-Arginina se comercializa junto con L-aspartato. Este es un precursor del oxalacetato, aumenta la oxidación de las grasas e incrementa el aclaramiento periférico del amonio. Así se puede decir que la combinación de la L-arginina con el L-aspartato podría aumentar la oxidación de las grasas, disminuir la oxidación de la glucosa, reducir los niveles de lactato, así como la frecuencia cardiaca y la ventilación en ejercicios submáximo, mejorando la adaptación a estos ¹⁸.

1.8 Estudio del Beta Hidroxi Metil Butirato (HMB)



El HMB es un metabolito derivado de la leucina, que junto con otros metabolitos como el Ketoisocaproato (KIC), jugará un papel importante en el catabolismo de proteínas del músculo esquelético y la integridad de la membrana celular ¹⁸.

El HMB regula el papel anticatabólico del KIC y de la leucina, y se ha observado que la suplementación con HMB podría tener los siguientes efectos positivos:

1. Disminuye el catabolismo muscular, evitando el daño muscular producido por el ejercicio ³⁷.
2. Atenúa la respuesta inmune inicial, lo que reducirá el tiempo de recuperación ³⁸.
3. Incentiva la ganancia de masa muscular magra (0.5 a 1kg) y de fuerza en sujetos no entrenados y que comienzan a realizar ejercicio ^{18, 39}.

Pero actualmente, no todos los estudios demuestran una mejora del rendimiento, sino que únicamente se demuestra que el consumo de HMB previo al ejercicio va a reducir el incremento de los niveles de la Lactato deshidrogenasa (LDH), proporcionando así cierta protección debido al daño muscular producido por el ejercicio ¹⁸.

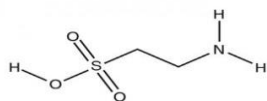
En sujetos entrenados los efectos de la suplementación con HMB no están claros, aunque se ha observado una mínima ganancia en la fuerza, no se han reportado ganancia de masa muscular, debido probablemente a una mayor variabilidad en la respuesta al HMB entre los deportistas ³⁹.

Por lo tanto la evidencia actual sugiere el HMB tiene efectos sobre la fuerza y la composición corporal en sujetos no entrenados y que comienzan con el ejercicio y no así en personas ya entrenadas ^{18, 39}.

Estudios en ratas han concluido que el HMB puede tener un efecto negativo a largo plazo, ya que parece incrementar el riesgo de desarrollar diabetes tipo II ⁴⁰.

La dosis para la suplementación será HMB de 1,5 a 3g/ día y la dosis para deportistas en ejercicios de fuerza sería de 3-6g/día. No se han encontrado efectos adversos a nivel orgánico con dosis elevadas de hasta 6 gramos/día ^{18, 39}.

1.9 Estudio de la Taurina



La taurina es un aminoácido esencial condicionado, se trata de un aminoácido sulfatado, ya que presenta un grupo azufre en vez del grupo carboxilo. A partir de la metionina y la cisteína el organismo es capaz de sintetizarlo, con la ayuda de la vitamina B6 ¹⁸.

Tras la glutamina, es el aminoácido más abundante en forma libre en el músculo (cuatro veces más abundante en las fibras tipo I). Forma parte de los ácidos biliares, y además tiene un efecto antioxidante, funciona como neurotransmisor, normaliza el equilibrio homeostático del organismo, estabilizador de las membranas celulares, induce la función inmune y ayuda en la desintoxicación de sustancias químicas extrañas ¹⁸.

Su interés para deportistas estaría en que actúa como activador de la insulina, en el metabolismo de las proteínas y de los hidratos de carbono. Así, a altas dosis de taurina provoca una mayor actividad de la insulina plasmática, disminuyéndose la glucosa en sangre y aumentando las reservas de glucógeno en el hígado ¹⁸.

Estudios con roedores mostraron que la suplementación con taurina incrementaba los niveles de taurina en el músculo, prolongando así el ejercicio. Cambios en las concentraciones de taurina van a estar relacionadas con la función muscular, ya que cuando la taurina desciende la contractibilidad disminuye y cuando las concentraciones aumentan se produce un aumento de fuerza ⁴¹. Otro estudio en ratas demostró que la taurina es útil para reducir la fatiga física y daño muscular producido por el ejercicio, debido a unos posibles efectos antioxidantes y una mejora en la función del músculo ⁴².

Sin embargo, estos efectos no han sido demostrados aún en humanos y es necesario más estudios para examinar el metabolismo y el rendimiento de la taurina como ayuda ergogénica ⁴¹.

Otros estudios han demostrado que la taurina reduce el daño muscular producido por el estrés oxidativo ^{43, 44}.

Una dosis de 0.5g-1g tres veces al día podría ser útil en ejercicios aeróbicos ¹⁸, pero estudios recientes han estudiado el comportamiento de una dosis aguda de aproximadamente 1,7g en dos horas en un ejercicio ciclista a intensidades submáximas. Se llegó a la conclusión que pese a aumentar los niveles de taurina plasmáticos seguidos de la ingesta de la dosis de taurina, no produce mejora en el ejercicio de resistencia en atletas entrenados ni produce acumulación en el músculo esquelético después de cinco o 7 días de consumo continuo ⁴¹.

Capítulo III Papel de la enfermería en el uso de ayudas ergogénicas

Aunque el establecimiento de un plan de ejercicio físico para una persona no compete específicamente al profesional de enfermería, si hay que tener en cuenta que dentro de dos de las más prestigiosas definiciones de la labor de la enfermería se justifica que una actividad de tal relevancia como el ejercicio y el deporte, junto con todos los factores que acompañan estas actividades, son elementos con un papel muy importante para todos los profesionales de ciencias de la salud.

Según Virginia Henderson la función de enfermería es: *“Ayudar al individuo sano o enfermo a realizar aquellas actividades que contribuyen a la salud o su recuperación que podría realizar sin ayuda si tuviera la fuerza, la voluntad o el conocimiento necesario, y hacerlo de tal forma que se le ayude a conseguir la independencia lo más rápido posible”*. Y según la ANA (American Nursing Association): *“Es la protección, promoción y optimización de la salud y las capacidades, prevenciones de la enfermedad y lesiones, alivio del sufrimiento a través del diagnóstico y tratamiento de la respuesta humana y el apoyo activo en la atención de individuos, familias, comunidades y poblaciones”*.

Así, se establece que un objetivo básico de la enfermería es la promoción de salud y el mantenimiento de ésta, de tal modo, la promoción del ejercicio físico va a ser un elemento clave en evitar la aparición de enfermedades como la obesidad, la hipertensión arterial o la diabetes. Además, en segundo lugar, es un pilar de tratamiento esencial en el control de estas enfermedades de carácter crónico.

Se ha demostrado a lo largo de las últimas décadas que la práctica de ejercicio físico, es fundamental para mantener y mejorar la salud de las personas. La OMS, por ejemplo en sus indicaciones para el tratamiento diabetes, o para la prevención de las enfermedades cardiovasculares, establece la realización reglada de ejercicio físico en el orden de al menos 30 minutos cada día de la semana ^{45, 46}. Lo mismo ocurre en España, el Ministerio de Sanidad en sus protocolos de protección de la salud, establece el ejercicio físico en jóvenes y adolescentes y en adultos como un elemento fundamental a la hora de prevenir la aparición de enfermedades crónicas. Además se ha establecido por este órgano gubernamental numerosos programas, como el de “Deporte sano”, “Deporte Salud”, “Actívate, aconseja salud”, tendentes a modificar la conducta de los ciudadanos para obtener los beneficios descritos. Sin embargo dichos programas son muy genéricos y necesitan una correcta puesta en marcha por agentes más cercanos para mejorar la salud.

Por último, mencionar que dentro de la propia Comunidad Autónoma, el Servicio Cántabro de Salud, en su programa informático de atención primaria (OMI) establece el ejercicio físico como un pilar básico a valorar en las revisiones de enfermedades crónicas como hipertensión arterial, diabetes, hipercolesterolemia, obesidad etc. Pero en contraposición no se disponen de guías o planes que permitan implementar con garantías dicha recomendación.

Dentro de la bibliografía existen diversos manuales de atención primaria, que establecen el ejercicio físico como un pilar fundamental en el tratamiento de la diabetes, hipertensión u obesidad, pero queda menos perfilado cómo se ha de realizar dicho ejercicio, cuánto tiempo, intensidad, tipo de ejercicio etc.^{47, 48, 49}

El profesional de enfermería tiene la función de realizar un correcto estudio poblacional y ver las necesidades de las personas, y los pacientes que esté tratando para así poner en marcha distintos protocolos que fomenten la práctica del ejercicio físico. En estos programas un aspecto importante sería explorar los conocimientos y las actitudes de las personas hacia las prácticas del ejercicio físico, para que a junto a todo lo anterior el equipo de profesionales realizara el plan más adecuado a cada uno.

Por otro lado, la práctica del ejercicio físico es esencial para el control de la gran mayoría de las enfermedades crónicas por lo que la enfermería se debe encargar de observar los avances en su estado de salud, por ejemplo pérdida de peso o mejor control de los índices glucémicos que va a proporcionar la práctica de un correcto ejercicio físico.

La enfermería no tiene la competencia que le permita planificar y controlar de manera autónoma planes de ejercicio, y por lo tanto, será necesario un enfoque interdisciplinar, en el cual licenciados en ciencias de la actividad física y deporte, colaboren junto a médicos y enfermeras a diseñar planes de ejercicio físico más concretos y específicos, no tan genéricos, para aquellas personas que su patología lo necesite, o que simplemente quieran mantener su estado de salud.

Debido al aumento del consumo de las ayudas ergogénicas o suplementos alimenticios en los últimos años, el profesional de enfermería deberá disponer de los conocimientos básicos sobre estas sustancias. Ya que a la hora de controlar el ejercicio físico de un paciente, si este decide o comunica que está tomando o que va a tomar algún tipo de ayuda ergogénica para la realización del ejercicio físico propuesto, deberá informarle de si es adecuado o no en base a su patología de base y en función del ejercicio prescrito. Además de informarle de la dosis, y de los posibles efectos secundarios que puede acarrear y que puedan ocasionar un peor control en su patología. Por ejemplo en un paciente con hipertensión arterial, el consumo de creatina, que se asocia a una ganancia de peso entre 600g y 2 kg por retención hídrica sería contraproducente para el control de dicha patología.

Otro aspecto a tener en cuenta, es la posible aplicación del diagnóstico de enfermería "Fatiga" (00093) relacionado con un aumento de ejercicio físico, para ello como se ha visto anteriormente el consumo de las ayudas ergogénicas puede ser un elemento que ayude a controlar la fatiga producido por la práctica del ejercicio físico.

Conclusiones

1. La suplementación con ayudas ergogénicas es un aspecto creciente en el ámbito de la actividad física, mal controlado, y basado en estudios escasos que no justifican en muchas ocasiones sus efectos. Toda ayuda ergogenica debe basarse en el conocimiento sobre el efecto en el metabolismo.
2. Un grupo de las ayudas mencionadas, entre las que se encuentra la creatina, la cafeína, el bicarbonato y los BCAAs, son las que más evidencia científica tienen de ser efectivas, y los que proporcionan una ayuda ergogenica más útil, por lo que su uso estaría más justificado. Otras como, en el caso de los aminoácidos, glutamina taurina y HMB, exceptuando la L-arginina, son utilizados para mejorar la síntesis proteica en el músculo. Sin embargo, si se realiza una correcta dieta con unos aportes proteicos que vayan acordes al ejercicio realizado, no sería necesaria su toma como suplementación.
3. Muchos de los estudios publicados usan mezclas de suplementos por lo que un gran número de resultados no se pueden atribuir a una única sustancia haciendo que los efectos descritos sean equívocos y muchas veces contradictorios.
4. En la bibliografía analizada no se han encontrado muchos estudios recientes sobre las sustancias ergogénicas, siendo un campo en que habrá que seguir con investigación a largo plazo para confirmar la eficacia en distintos grupos poblacionales; y, sobre todo, los posibles efectos secundarios, debido a que actualmente el uso de muchas de ellas se encuentra en entredicho.
5. La enfermería tiene un papel fundamental en la promoción del ejercicio físico, tanto para proteger de la enfermedad como para controlar ésta, por tanto su participación en el establecimiento de programas de ejercicios más reglados en la atención primaria es totalmente necesario. Además debido al auge del consumo de sustancias ergogénicas, tanto individualmente como promovidas por los gimnasios, es fundamental disponer de una base de conocimientos por parte del profesional de enfermería que le permita realizar un proceso de educación en los pacientes a los que se intenta estimular para la práctica del ejercicio físico, debido a que estas personas pueden tener un mayor interés en el consumo de estos suplementos.
6. La toma de ayudas ergogénicas debe ir acompañada de una dieta sana y equilibrada que se adecue a las necesidades energéticas del ejercicio físico a realizar y específicamente de un correcto control sobre las dosis y la eficacia de las mismas por un profesional sanitario.

Bibliografía

1. Casajús JA, Vicente-Rodríguez G. Ejercicio físico y salud en poblaciones especiales. Exernet. 1ª ed. Madrid: Colecciona ICD; 2011.
2. OMS.org, Inactividad física [Internet]. Organización mundial de la salud. 2014-[Acceso 10 de agosto de 2014] Disponible en: http://www.who.int/dietphysicalactivity/factsheet_inactivity/es/.
3. OMS.org, Actividad física [Internet]. Organización mundial de la salud. 2014-[Acceso 10 de agosto de 2014] Disponible en: <http://www.who.int/dietphysicalactivity/pa/es/>.
4. Taylor AW, Bachman L. The effects of endurance training on muscle fibre types and enzyme activities. Canadian Journal of Applied Physiology 1999; 24(1):41-53.
5. Wilmore JH, Costill DL. Fisiología del esfuerzo y del ejercicio. 6th ed. Barcelona: Paidotribo; 2007.
6. López Chicharro L, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3rd ed. Madrid: Panamericana; 2006.
7. Botinelli R RC. Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. Progress in Biophysics and molecular Biology 2000; 73(2):195-262.
8. Hall JE. Tratado de fisiología médica. 12th ed. Barcelona: Elsevier; 2011.
9. McArdle WD, Katch FI, Katch VL. Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance. 6th ed. EEUU: Ippicontt Williams and Wilkins; 2007.
10. Venables MC, Achten J, Jeukendrup AE. Determinants of fat oxidation during exercise in healthy men and women. A cross-sectional study. J Appl Physiol 2004; 98(1):160-167.
11. Zoladz Ja KR. Physiological background of the change point on VO_2 and the slow component of oxygen uptakes kinetics. J Physiol Pharmacol 2001; 52:167-184.
12. Westerblad, H. Allen, D.G. Länner, J. Muscle fatigue: Lactic acid or inorganic phosphate the mayor cause. News in the physiological sciences 2002; 17:17-21.
13. Gómez-Campos R, Cossio-Bolaños M.A, Brousett Minaya M, y Hochmuller-Fogaca RT. Mecanismos implicados en la fatiga aguda. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte 2010; 10(40):537-555.
14. Aguinaga A, Urdampilleta A, Martínez-Sanz JM. Ayudas ergonutricionales y consumo de suplementos dietético de uso frecuente en los gimnasios. Efdportes [Internet] Julio de 2012. [Acceso: 10 de abril 2014]; 17(170). Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd170/ayudas-ergonutricionales-de-uso-en-gimnasios.htm>

15. Garnés Ros AF, Mas Rodríguez OC. Ayudas ergogénicas en el deporte. Efdeportes [Internet] Julio de 2005 [Acceso: 10 de abril 2014]; 10(86). Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd86/ergog.htm>
16. Garrido RP, González M, García M. Suplementos alimenticios en deportistas de elite. Efdeportes [Internet] Diciembre de 2005 [Acceso: 10 de abril 2014]; 10(91) Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd91/supl.htm>
17. Gonzalo Prieto R. Efectos de los suplementos de creatina sobre el rendimiento físico. Efdeportes [Internet] Febrero de 2004 [Acceso: 10 de abril 2014]; 10(69). Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd69/creatina.htm>
18. Palacios N, Manonelles P, Blasco R, Franco L, Manuz B, Villegas JA, et al... Ayudas ergogénicas nutricionales para personas que realizan ejercicio físico. Pamplona: Federación Española de medicina del deporte; 2012.
19. Pesta DH, Angadi SS, Burtcher M, Roberts CK. The effects of caffeine, nicotine, ethanol and tetrahydrocannabinol on exercise performance. Nutr Metb 2013; 10(71).
20. Ibáñez Santos J, Astiasaran Anchía I. Alimentación y deporte. Primera ed. Navarra: EUNSA; 2010.
21. Gómez-Campos R. La carnitina como suplemento nutricional. Educación física-Chile 2009; 80(268): 23-32
22. Castell LM, Burke LM, Estear SJ, McNaughton LR, Harris RC. A-Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance Part 5. Br J Sports Med. 2010; 44(1): 77-78
23. Shomomura Y, Murakami T, Nakai N, Nagasaki M, Harris RA. Exercise promotes BCAA catabolism: Effects of BCAA. Supplementation on skeletal muscle during exercise. J Nutr. 2004 Jun; 134(6):1583-1587.
24. Vargas S, Lianza Bao A. Propuesta de organización de suplementos para la hipertrofia en combinación con un macrociclo de entrenamiento. Efdeportes Diciembre de 2013 [Acceso: 10 de abril 2014]; 18(187). Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd187/suplementos-para-la-hipertrofia-en-un-macro ciclo.htm>
25. Chio S, Disitrom H, Fernstrom JD. Oral branched-Chain amino acid supplements that reduce brain serotonin during exercise in rats also lower brain catecholamines. Amino Acids. 2013 Nov; 45(5):1133-1175.
26. Greer BK, White JP, Arguello EM, Haymes EM. Branched-Chain amino acid supplementation lowers perceived exertion but not affect performance in untrained males. J Strength Con Res. 2011 Feb; 25(2):539-583.
27. Spillane M, Emerson C, Willoughby DS. The effects of 8 weeks of heavy resistance training and branched-chain amino acid supplementation on body composition and muscle performance. Nutr Health. 2012 Oct; 21(4):263-336.

28. Som A. Efecto del bicarbonato sódico sobre el rendimiento deportivo. Efdeportes [Internet] Octubre de 2008 [Acceso: 10 de abril 2014]; 13(125). Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd125/el-efecto-del-bicarbonato-sodico-sobre-el-rendimiento-deportivo.htm>
29. Insúa MF, Fuks K. Síntesis proteica y glutamina. Efdeportes [Internet] Abril de 2003 [Acceso: 10 de abril 2014]; 9(59). Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd59/glutam.htm>
30. Arasa Gil M. Manual de nutrición deportiva. 1ª ed. Barcelona: Paidotribo; 2005.
31. Burke LM, Castell LM, Estear SJ. A–Z of supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance. Part 2. Br J Sports Med 2009; 43(11): 807-810
32. Castro A Cabral de Oliveira AC. Efectos del óxido nítrico en la fisiología muscular. Efdeportes [Internet]. Agosto de 2001; 7(39). Disponible en: <http://www.efdeportes.com/efd39/on.htm>
33. Silveira T, Conte-Junior CA, Trajano C, Flosi VM. No effect of L-arginine supplementation on nitric oxide production and muscle recovery. Archivos de medicina del deporte. 2012 Feb; 29(149):660-668.
34. Vanthalo A, Bailey SJ, DiMenna FJ, Blackwell JR, Wallis GA, Jones AM. No effect of acute L-arginine supplementation on O2 cost or exercise tolerance. Eur J appl Physiol. 2013 Jul; 113(7):1805-1824.
35. Jones AM, Vanthalo A, Bailey SJ. Influence of dietary nitrate supplementation on exercise on tolerance and performance. Nestle Nutr Inst Workshop Ser. 2013; 75:27-67.
36. Alvares TS, Conte-Junior CA, Silva TJ, Paschoalin VM. L-arginine does not improve biochemical and hormonal response in trained runners after 4 weeks of supplementation. Nutr Res. 2014 Jan; 34(1):31-40.
37. Wilson JM, Lowery RP, Joy JM, Walters JA, Baier SM, Fuller JC JR, et al. β -Hidroxy- β -methylbutyrate free acid reduces markers of exercise-induced muscle damage and improves recovery in resistance -trained men. Br J Nutr. 2013 Aug; 110(3):538-582.
38. Townsend JR, Fragala MS, Jajtner AR, Gonzalez AM, Ellis AJ Manginge GT, et al. β -Hidroxy- β -methylbutyrate (HMB)-free acid attenuates circulating TNF- α and TNFR1 expression post resistance exercise. J appls Physiol. 2013 Oct; 115(8):1173-1255.
39. 31. Castell LM, Burke LM, Estear SJ, Maughan RJA–Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance Part 8 Br J Sports Med 2010;44(6):468-470.
40. Yonamine CY, Teixeira SS, Campello RS, Gerlinger-Romero F, Rodrigues CF JR, Guimarães-Ferreira L. et al. Beta hydroxy beta methylbutyrate supplementation impaired peripheral insulin sensitivity in health sedentary wistar rats. Acta Physiol. 2014 Sep; 212(1):62-136.

41. Pearce J, Norton LE, Senchina DS, Spriet LL, Burke LM, Stear SJ, Castell LM. A–Z of nutritional supplements: dietary supplements, sports nutrition foods and ergogenic aids for health and performance—Part 37. *Br J Sports Med*. 2012; 46(13):954-956.
42. Manabe S, Kurroda I, Okada K, Morishima M, Okamoto M, Harada N, et al. Decreased blood levels of lactic acid and urinary excretion of 3-methylhistidine after exercise by chronic taurine treatment in rats. *J Nutr Sci Vitaminol*. 2013 Dec; 49(6):375-455.
43. da Silva LA, Tromm CB, Bom KF, Mariano I, Pozzi B, da Rosa GL, et al. Effects of taurine supplementation following eccentric exercise in young adults. *Appl Physiol*. 2013 Jan; 39(1):101-105.
44. Silva La, Silveira PC, Ronsani MM, Souza PS, Scheffer D, Vieira LC. Taurine supplementation decrease oxidative stress in skeletal muscle after eccentric exercise. *Cell Biochem Funct*. 2011 Jan-Feb; 29(1):43-52.
45. OMS.org. Enfermedades cardiovasculares [Internet]. Organización mundial de la salud; 2014-[Acceso 7 de septiembre de 2014]. Disponible en: http://www.who.int/cardiovascular_diseases/es/.
46. OMS.org, Diabetes [Internet]. Organización mundial de la salud; 2014-[Acceso 7 de septiembre de 2014]. Disponible en: http://www.who.int/diabetes/action_online/basics/es/index1.html.
47. Caja López C. Enfermería comunitaria III. Atención primaria. 2ª ed. Barcelona: Masson; 2003.
48. Chena JA. Diabetes mellitus. Aspectos para educadores. 1ª ed. España: novo nordisk; 2001.
49. Martín Zurro A, Cano Pérez JF. Manual de atención primaria. Organización y pautas de actuación en la consulta. 1st ed. Barcelona: Doyma; 1986.