



---

**Universidad de Valladolid**

*Facultad de Medicina*

Grado Nutrición Humana y Dietética

Trabajo Fin de Grado

**Ayudas ergogénicas en la  
prevención de pérdida de masa  
muscular en el deporte**

*Alumna: Sonsoles Muñoz Baeza*

*Tutora: Dra. Raquel Blasco Redondo*

*“Solo aquellos que se atreven  
a tener grandes fracasos terminan  
consiguiendo grandes éxitos”.*

Robert F. Kennedy

***Dedicatoria y agradecimientos:***

*A mis padres, ellos han hecho posible sin lugar a duda que haya llegado hasta aquí; a mis hermanas, por levantarme en los cientos de tropiezos que he tenido; a mis compañeros de entrenamiento, mi segunda familia; a mis compañeras de carrera, a quien asalto a preguntas cuando me veo en algún aprieto académico; y como no, a mi tutora, la siempre agradable Dra. Raquel Blasco, contigo empezó esta aventura. Gracias por vuestra perseverancia empujándome a seguir y a vuestros montones de arena que lo han hecho posible.*

*Todo esto, también es vuestro.*



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	5
<b>2. OBJETIVO</b> .....	6
<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	6
<b>4. DESARROLLO</b> .....	7
<b>4.1 Suministro energético en el deporte</b> .....	7
4.1.1 Sistema de los fosfágenos .....	8
4.1.2 Sistema anaeróbico láctico .....	8
4.1.3 Sistema aeróbico .....	8
<b>4.2 Valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo</b> .....	9
<b>4.3 Fatiga</b> .....	12
4.3.1 Concepto. La fatiga muscular en el deporte. ....	12
4.3.2 Factores desencadenantes del daño muscular. ....	12
4.3.3 Mecanismos desencadenantes principales de la fatiga.....	13
4.3.4 Clasificación de la fatiga .....	14
<b>4.4 Ayudas ergogénicas nutricionales</b> .....	16
4.4.1 Importancia de la ayuda ergogénica nutricional en el deporte.....	16
4.4.2 Principales ayudas ergogénicas nutricionales en el deporte. ....	16
<b>5. DISCUSIÓN</b> .....	24
<b>6. CONCLUSIONES</b> .....	25
<b>7. BIBIOGRAFÍA</b> .....	26

## **RESUMEN**

**Introducción:** La ingesta de ayudas ergogénicas nutricionales cada vez está adquiriendo más importancia en población deportista. Para obtener los efectos esperados es necesario individualizar los protocolos de suplementación de acuerdo con las características de cada sujeto. Uno de los posibles riesgos de practicar deporte es la aparición de fatiga muscular. Por ello, el objetivo de este trabajo se ha centrado en las ayudas ergogénicas nutricionales que han demostrado suficiente evidencia en la capacidad de prevenir la pérdida de masa muscular; y con ello, la aparición de fatiga periférica en deportistas.

**Métodos:** Estudio descriptivo de revisión bibliográfica sobre la eficacia de las ayudas ergogénicas nutricionales en la prevención de pérdida de masa muscular. Se ha realizado una búsqueda en base de datos Pubmed y Medline; se han revisado los documentos de consenso publicados en la Journal of the International Society of Sport Nutrition y se han obtenido datos de la U.S. Food and Drug Administration y European Food Safety Authority. Criterios de inclusión: estudios realizados en deportistas entrenados de larga duración, ensayos clínicos controlados y aleatorizados en castellano/inglés sobre las ayudas ergogénicas nutricionales relacionadas con la aparición de fatiga periférica en los deportistas.

**Conclusiones:** Existen pruebas de que la realización de un ejercicio de alta intensidad promueve la producción de radicales libres oxidativos responsables de aumentar los marcadores de daño muscular. Existe evidencia que realizar un correcto aporte de ayudas ergogénicas nutricionales en deportistas aumenta el almacenamiento en búffer de protones siendo posible así la disminución de los marcadores de daño muscular responsables de la aparición de fatiga periférica. En conclusión, el uso adecuado de ayudas ergogénicas nutricionales en el ejercicio de alta intensidad previene la aparición de fatiga muscular, mejorando el rendimiento.

**Palabras clave:** Nutrición, rendimiento físico, ayuda ergogénica, deporte, fatiga.

## **Abstract**

**Introduction:** The intake of nutritional ergogenic aids is becoming more important in the athlete population. For to get the expected effects is needed supplementation protocols individualized according to the characteristics of each subject. One of the possible risks of to do sport is the onset of muscle fatigue. Therefore, the objective of this work has focused on nutritional ergogenic aids that have shown sufficient evidence in the ability to prevent the loss of muscle mass; and thus, the appearance of peripheral fatigue in athletes.

**Methods:** A literature review on the current state over the efficacy of the nutritional ergogenic aids in preventing muscle loss. It has performed a search in PubMed and Medline database; they have been revised consensus documents published in the Journal of the Internatinal Society of Sport Nutrition and some data have been obtained from the U.S. Food and Drug Administration and European Food Safety Authority. Inclusion criteria: studies in long-term trained athletes, Spanish / English randomized clinical trial over the nutritional ergogenic aid related to the appearance of peripheral fatigue in athletes.

**Conclusions:** There is evidence that the realization of high-intensity exercise promotes the production of exidative free radicals reponsible for increasing muscle damage markers. A proper contribution of nutritional ergogenic aids in athletes increases proton bufferinf being posible thus to decrease markers of muscle damage responsable for the onset of peripheral fatigue. In conclusi3n, the adequate use of nutritional ergogenic aids in high intensity exercise prevents the onset of muscle fatigue, improving performance.

**Key words:** nutrition, physical performance, ergogenic aid, sport, fatigue.

## 1. INTRODUCCIÓN

El éxito siempre ha sido la meta para cualquier deportista y para conseguirlo es necesario cumplir con 3 factores igual de importantes cada uno; el adecuado descanso, el buen entrenamiento y la correcta alimentación (en la cual nos centraremos más profundamente).

La palabra “ergogenia” proviene del griego “ergos”, que significa trabajo y “genan” que es generar. Se considera como “ayudas ergogenicas” cualquier maniobra o método realizado con el fin de aumentar la capacidad para desempeñar un trabajo físico y mejorar el rendimiento<sup>1</sup>.

Existen diferentes tipos de ayudas ergogénicas; mecánicas (mallas, zapatillas, cinturones,...), fisiológicas (entrenamientos en altura), farmacológicas (N-acetilcisteína), psicológicas (ejercicios de relajación) y nutricionales<sup>1</sup>, en las cuales basaremos el objetivo del siguiente trabajo.

La alimentación y la hidratación del deportista influyen de una manera fundamental tanto en la salud como en el rendimiento deportivo. Para un deportista es fundamental poder realizar entrenamientos intensos y competiciones frecuentes sin caer en una fatiga crónica, lesión o enfermedad. Para ello, es importante que además del tipo de alimento, se consuman las cantidades adecuadas de energía, nutrientes y agua con una correcta regularidad y adaptada a los horarios de entrenamientos y competiciones.

Hay veces que todas estas recomendaciones no son suficientes y el deportista acude a la toma de determinados suplementos nutricionales en un intento de mejorar su rendimiento deportivo. Estos productos deben ser de máxima seguridad y calidad y, por supuesto, exentos de cualquier sustancia prohibida en la práctica deportiva. Estos suplementos nutricionales se conocen como ayudas ergogénicas nutricionales.

Los entrenamientos se individualizan según las características del deportista, por lo que además de una buena alimentación, en la mayoría de los casos, resulta imprescindible utilizar ayudas ergogénicas nutricionales. Éstas están cobrando cada vez un mayor protagonismo y en las que tanto el momento y la finalidad de su uso pueden variar ampliamente según sean las características específicas de cada deporte y la situación correcta del deportista <sup>2</sup>.

Se pueden presentar como alimentos sólidos, como bebidas o en forma concentrada y dosificada.

## 2. OBJETIVO

El objetivo de este trabajo es evaluar a la luz de la evidencia científica la utilidad de las ayudas ergogénicas nutricionales para prevenir la pérdida de masa muscular relacionada con el intenso desgaste físico, evitando así la aparición de fatiga periférica en deporte.

## 3. MATERIAL Y MÉTODOS

Se realiza una revisión bibliográfica sobre el estado actual de las ayudas ergogénicas nutricionales capaces de prevenir la pérdida de masa muscular en el deporte. Se ha realizado una búsqueda en la base de datos PubMed y Medline utilizando las siguientes palabras claves: (“*Nutrition, physical performance, ergogenic aid, sport, fatigue*”). También se han obtenido los documentos de consenso publicados en la *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. Además de estos documentos de consenso, se han obtenido datos referentes en la materia en la *U.S. Food and Drug Administration* y *European Food Safety Authority*.

Los artículos seleccionados para la revisión bibliográfica, en donde se han agrupado las investigaciones en las cuales se relacionaba ayudas ergogénicas con la aparición de fatiga muscular en los deportistas presentan los siguientes criterios de inclusión:

- Estudios realizados en deportistas entrenados de larga duración.
- Publicados en inglés y castellano.
- Ensayos clínicos controlados y aleatorizados relacionados con el consumo de ayudas ergogénicas y la aparición de fatiga muscular en los deportistas.

Se han excluido aquellos estudios que trabajaban con el consumo de ayudas ergogénicas en sujetos no entrenados y/o con presencia de alguna patología.

De los estudios seleccionados en base a los criterios anteriormente descritos, realizamos la revisión de los siguientes parámetros:

1. Fisiología de los sistemas energéticos en el deporte.
2. Valoración de la composición corporal en el deporte.
3. La fatiga muscular en el deporte.
4. Relación entre ayudas ergogénicas y la prevención de pérdida de masa muscular en deporte, evitando así la aparición de fatiga.

## 4. DESARROLLO

### 4.1 Suministro energético en el deporte.

Un factor muy importante en la selección del sustrato es la velocidad a la que puede obtenerse energía a partir de dicho sustrato, es decir, la liberación máxima de energía por unidad de tiempo. Por ello, la intensidad máxima de ejercicio está limitada por la potencia máxima (combinada) de los procesos energéticos.

El desarrollo de actividad física depende de un suministro energético adecuado a las fibras musculares responsables del proceso de contracción. Esta energía proviene de las moléculas de adenosíntrifosfato (ATP), un nucleótido que se incluye dentro de los compuesto fosfatos de alta energía, así llamados porque en sus enlaces fosfato se concentra gran cantidad de energía que puede liberarse por reacciones de hidrólisis simple y/o de transferencia de fosfatos.



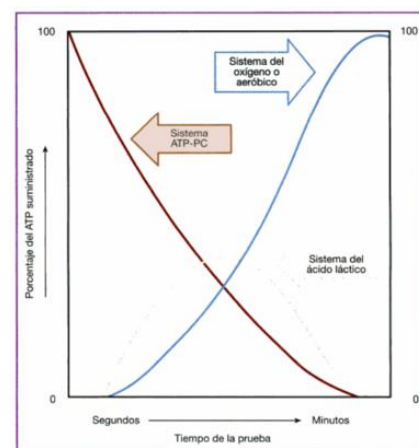
Sin embargo, la concentración de ATP en el interior de las células se sitúa en torno a 5-6  $\mu\text{moles}$  por gramos de fibra muscular, cantidad muy escasa que sólo aporta energía para contracciones intensas durante 2-4 segundos. Para poder mantener la actividad muscular, exceptuando los primeros segundos, es necesario que se vaya formando continuamente nuevo ATP. Esto es posible gracias a la ruptura de moléculas más complejas (nutrientes) por medio de diferentes series de reacciones químicas, que liberando energía permiten la resíntesis citada <sup>3</sup>.

Los sistemas encargados de producir ATP a partir de la energía química almacenada de los alimentos son los denominados **sistemas energéticos**.

Durante la realización del ejercicio se produce una interacción de los diferentes sistemas energéticos ya que éstos no actúan de manera independiente, cada uno de los tres sistemas energéticos está contribuyendo a las necesidades energéticas totales del organismo.

Lo que ocurre en nuestro organismo es que según la intensidad del ejercicio, predominará más un sistema energético sobre los otros <sup>4</sup>.

Figura 1. *Relación entre el porcentaje de ATP aportado por los diferentes sistemas energéticos en relación con el tiempo de la prueba.*





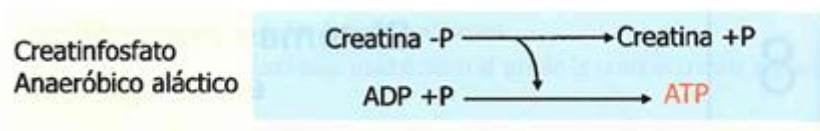
Los sistemas energéticos son:

#### 4.1.1 Sistema de los fosfágenos (ATP-PCr):

Este compuesto energético está almacenado en la masa muscular y es de utilización inmediata. Es un sistema de baja rentabilidad energética. Sólo suministra energía durante poco tiempo (actividades explosivas de 5-10 seg).

Predomina en la contribución de energía al organismo en los ejercicios muy intensos y breves, como puede ser una carrera de 100m.l.

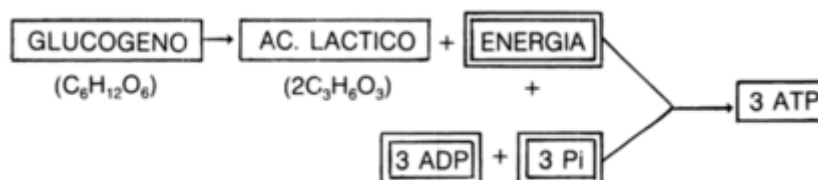
Permite obtener ATP a partir de la siguiente reacción:



#### 4.1.2 Sistema anaeróbico láctico (glucólisis anaeróbica):

El término glucólisis anaeróbica quiere decir degradación del glucógeno en ausencia de oxígeno para proporcionar al organismo energía que permita la resíntesis del ATP. Al desdoblarse el glucógeno se produce ácido láctico y en el momento en el que este ácido se acumula en sangre y músculos aparece la fatiga. Llega un momento en el que la acumulación de ácido láctico es tal que impide que pueda mantener el esfuerzo durante más tiempo.

Este sistema obtiene la energía necesaria al organismo para realizar esfuerzos de intensidad elevada que duran entre 30 segundos y 2 minutos. Su esquema se define en la siguiente reacción:

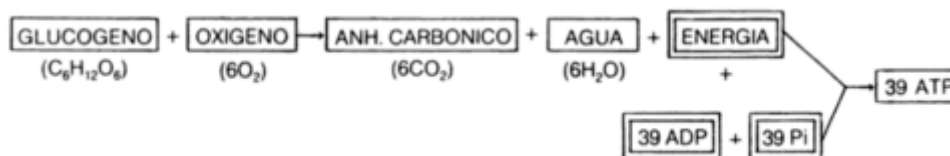


#### 4.1.3 Sistema aeróbico (oxidativo):

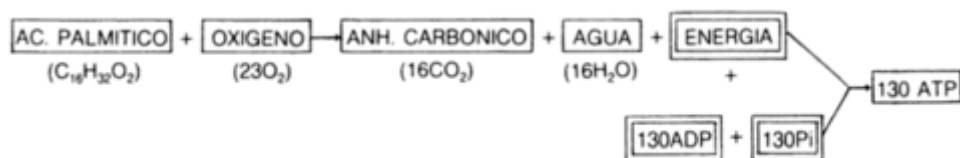
Sistema de reacciones metabólicas por las que el glucógeno se degrada en presencia de oxígeno. Es agua y el CO<sup>2</sup> formados como productos finales, carecen de toxicidad para el organismo y no producen fatiga, debido a que el CO<sup>2</sup> es transportado por la

sangre a los pulmones a través de los cuales es arrojado fuera del organismo por la espiración, y el agua es de suma utilidad en múltiples procesos durante el esfuerzo.

La glucólisis aeróbica es el sistema encargado de aportar la energía al organismo mediante el desdoblamiento del glucógeno para mantener esfuerzos intensos entre 3 y 30 minutos. El esquema simplificado es el siguiente:



Si el esfuerzo dura más de 30 minutos, la intensidad es menor, el organismo en vez de utilizar glucógeno como combustible utiliza ácidos grasos y los desdobla hasta conseguir agua y  $\text{CO}^2$  como productos finales. El esquema simplificado es el siguiente<sup>5</sup>:



#### 4.2 Valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo:

El estudio de la composición corporal comprende la determinación de los componentes principales del cuerpo humano, las técnicas y métodos utilizados para su obtención y la influencia que ejercen los factores biológicos como la edad, sexo, estado nutritivo o la actividad física <sup>6</sup>.

Dentro de la población deportista, la valoración del componente muscular tiene interés debido a la amplia variedad de modalidades deportivas, en los que los atletas difieren más en su desarrollo muscular, que en la cantidad de grasa corporal <sup>7</sup>. La fuerza es una cualidad cada vez más importante en el gesto deportivo, existiendo una relación directa entre fuerza máxima y la masa muscular. Por lo tanto, a la hora de elaborar el perfil fisiológico de los atletas, la masa muscular puede ser un parámetro esencial <sup>7, 8, 9</sup>.

La mayoría de los métodos para la determinación de la composición corporal siguen el modelo clásico de dos componentes: peso graso (Fat) y peso magro (LBM).

La utilización del LBM como estimativa de masa muscular se basa en que ésta es su principal constituyente, relacionándose ambas proporcionalmente. La masa muscular estaría alrededor del 50% de la masa libre de tejido adiposo, pero con una cierta variabilidad ya que dicho componente está formado también por el tejido óseo, órganos, víscera, grasa esencial y fluidos no incluidos en el resto; los cuales también pueden estar en mayor o menor proporción y afectar a la relación LBM y masa muscular<sup>10</sup>.

La estimación de la composición corporal es importante para la determinación del estado nutricional. Existe una gran variedad de métodos para la valoración de la composición corporal que han sido desarrollados y validados. Entre ellos, quiero destacar las técnicas antropométricas y la bioimpedancia eléctrica como métodos de fácil aplicación, buena reproducibilidad y escaso costo.

Uno de los objetivos es tener un documento con referencias claras y adecuadas en cuanto a las ecuaciones utilizables para cada población, en nuestro caso, para deportistas.

#### Antropometría:

La antropometría es una técnica sencilla, no invasiva, útil tanto en el estudio de la composición corporal como en la descripción de la morfología mediante el somatotipo y el análisis de la proporcionalidad de las medidas corporales<sup>11</sup>.

Se define como “el área de la aplicación del estudio del tamaño, forma, proporción, composición, maduración y funciones principales del ser humano, mediante la medición del peso corporal, estatura, diámetros, perímetros y pliegues cutáneos<sup>12</sup>. Actualmente, es el método más utilizado que está certificado por la *International Society for the Advancement Kineanthropometry* (ISAK) .

La ISAK es la Sociedad Internacional para el desarrollo de la Cineantropometría, la cual ha desarrollado y utilizado el método antropométrico para el estudio de la forma humana y la composición corporal (masa: adiposa, muscular, ósea, residual y de la piel) de individuos de la población general y deportistas.

El objetivo de la ISAK es la unificación de criterios internacionales aplicando la misma técnica de mediciones antropométricas, asegurando de esta manera la realización de mediciones confiables y objetivas y que además nos permitan comparar resultados de otros estudios<sup>13</sup>.

En deportistas se suele utilizar la ecuación de Faulkner para determinar el %MG, la cual es la siguiente:

$$\% \text{ Peso Graso} = 0,153 * (\text{PI Tri} + \text{PI Sub} + \text{PI Sesp} + \text{PI Abd}) + 5,783$$

*PI Tri: Pliegue del tríceps en mm; PI Sub: Pliegue subescapular en mm; PI Sesp: Pliegue supraespinal en mm; PI Abd: Pliegue abdominal en mm<sup>14</sup>.*

#### Biaimpedancia:

Es un método rápido, barato y no invasivo para la evaluación de la composición corporal. La impedancia mide la oposición al flujo de una corriente por el cuerpo entero. La resistencia al flujo presente será más grande en individuos con cantidades grandes de tejido adiposo dado que este es un conductor pobre de la electricidad debido a su bajo volumen de agua relativo. Los tejidos acuosos con gran disolución de electrolitos son grandes conductores eléctricos y no así la grasa del cuerpo.

Normalmente se utilizan dos electrodos en pareja situados en la muñeca y en el tobillo, normalmente a una frecuencia de medida de 50 kHz para calcular un valor de impedancia corporal.

La bioimpedancia asume que el cuerpo es un cilindro conductor con una longitud proporcional a la altura del sujeto, variable que suele incluirse en todas las variables de estimación así como la resistencia y la reactancia. Los cambios en el volumen extracelular y la concentración de electrolitos tendrán su variación en el valor R y X<sup>15</sup>.

Una vez descritos los dos métodos más utilizados para la valoración de la composición corporal en deportistas, he realizado una búsqueda bibliográfica para averiguar cuál de los dos ha resultado ser el más fiable.

Pues bien, tras revisar los estudios *Assessment of body fat in physically active young people: anthropometry vs bioimpedance*<sup>16</sup> y *THE ANTHROPOMETRIC METHOD VERSUS DIFFERENT BIA SYSTEMS TO ESTIMATE FAT IN ATHLETES*<sup>17</sup> he llegado a la conclusión de que la antropometría ha demostrado ser más sensible que la BIA para detectar los cambios de la composición corporal en deportistas, y puede seguir considerándose como un método de referencia para la estimación de masa grasa, siempre y cuando las medidas sean realizadas por personal muy entrenado. No obstante, es evidente que los métodos BIA son una alternativa muy a tener en cuenta cuando no se dispone de los medios (tiempo y personal especializado) para realizar de forma precisa y exacta las mediciones de los diferentes parámetros antropométricos.

## 4.3 Fatiga

### 4.3.1 Concepto. La fatiga muscular en el deporte.

Casi el 90% de los deportistas de élite arrastran lesiones en su vida profesional. Los especialistas en medicina deportiva aclaran que todos los deportistas de élite sufren lesiones como consecuencia de la exigencia, cada vez mayor, de la alta competición. Su gran reto consiste en curarlas y buscar opciones para que, a pesar de ellas, puedan seguir rindiendo al máximo.

Existe gran variedad de lesiones como puede ser las roturas musculares o fracturas. Para poder prevenir una lesión es necesario conocer cuáles son sus causas. Una de las causas más frecuentes de una lesión es la fatiga.

La fatiga está relacionada directamente con la pérdida de masa muscular, por lo que nos vamos a basar en cómo prevenir la fatiga, previniendo así la pérdida de masa muscular con ayudas ergogénicas nutricionales.

La **fatiga** es definida como la imposibilidad física, psíquica u orgánica para continuar un trabajo al mismo ritmo que se venía realizando y que resulta reversible con el reposo<sup>18</sup>. El grado de fatiga soportado presenta diferencia entre las personas y depende, en gran medida, del grado de entrenamiento y de la condición física, del respaldo psicológico y motivación de cada deportista.

El entrenamiento es un proceso continuo de estímulos de adaptación, con el objetivo de mejorar las capacidades del organismo, determinantes en el rendimiento. La fatiga actúa como un mecanismo de protección evitando así la producción de lesiones irreversibles imposibilitando generar la fuerza requerida o esperada por el deportista<sup>18</sup>.

La fatiga muscular asumible en el ámbito deportivo presenta unas características que le son propias y son las que facilitan el desencadenamiento del daño muscular.

### 4.3.2 Factores desencadenantes del daño muscular<sup>19-25</sup>.

- ✓ Alto grado de estrés oxidativo.

En el deporte de alta competición, es preciso entrenar de forma extenuante necesitando el deportista obtener la energía suficiente. Esta energía en situación aeróbica, se obtiene a través de diferentes sistemas de suministro de energía, según la intensidad y duración de las cargas, produciendo elevadas cantidades de radicales libres oxidativos y en situación anaeróbica se va a obtener a partir del pago de la deuda de oxígeno, produciéndose así mismo un incremento de los radicales libres oxidativos.

- ✓ Alteraciones de la microcirculación.

Se dificulta la microcirculación y se producen cambios metabólicos con la liberación de radicales libres oxidativos, los cuales pueden activar las enzimas proteolíticas.

- ✓ Estrés mecánico.

Afecta a todo el aparato contráctil y conduce al incremento de radicales libres oxidativos.

- ✓ Alteraciones metabólicas secundarias.

- a) Glucógeno: El proceso inflamatorio originado por la lesión muscular, origina depleción del glucógeno.
- b) Calcio y Magnesio: Posterior al daño local de la inflamación, se observa, a nivel del músculo, un aumento del calcio sarcoplásmico y del magnesio, interviniendo en los mecanismos de reparación como mecanismo de defensa. Sin embargo, si actúa de forma crónica, da lugar a alteraciones bioquímicas, electrofisiológicas y morfológicas en las fibras musculares.
- c) Enzimas musculares: Se producen aumentos de los niveles plasmáticos de creatin-kinasas y ácido láctico deshidrogenasa, troponina, cadenas pesadas de miosina, etc, como consecuencia de la extravasación de las proteínas tisulares al torrente circulatorio.

#### **4.3.3 Mecanismos desencadenantes principales de la fatiga <sup>18,26</sup>:**

1. Depleción de sustratos.

La pérdida de glucógeno en el músculo constituye un factor determinante en la aparición de la fatiga, ya que éste es la principal reserva energética muscular.

El trabajo muscular también se ve debilitado por la disminución de la reserva de creatín fosfato, de las grasas y la falta de O<sup>2</sup> debido a que estos sustratos afectan las bombas de sodio/potasio y calcio y los puentes de actina – miosina.

2. Aumento de la concentración de catabolitos.

El trabajo muscular origina los siguientes residuos que interfieren en las vías metabólicas de obtención de energía durante la contracción muscular:

- ✓ Exceso de lactato y descenso de pH (acidosis): El incremento de ácido láctico interfiere en los procesos de producción de ATP, con la neurotransmisión y la

excitación muscular. El aumento de ácido láctico incrementa la osmolaridad celular atrayendo agua al músculo, aumentando así su presión y restringiendo de esta manera la circulación sanguínea.

- ✓ El aumento de los hidrogeniones provoca una alteración de los sistemas enzimáticos de la glucogenolisis hepática y de la glucolisis, por lo cual, se interrumpen las vías de obtención de energía rápida.
- ✓ Incremento de amonio. Se produce durante entrenamientos muy intensos y mantenidos, lo cual provoca alteraciones en los sistemas enzimáticos de obtención de energía, utilizándose el metabolismo de las proteínas. Este proceso puede reducir el número de cifras activas y repercutir sobre el ciclo de Krebs.

### 3. Alteraciones hidroelectrolíticas.

Se ve afectado el potencial de membrana debido a la afectación del volumen plasmático y los niveles de K, Na, Ca y Mg.

### 4. Alteración de las enzimas kinasas.

La fatiga crónica afecta al grupo de estas enzimas como son las hexonukinasas o creatinkinasas, las cuales están relacionadas con la producción de ATP.

### 5. Alteración de la captación de aminoácidos ramificados.

La pérdida de las reservas de sustratos (principalmente glucógeno muscular) producen cambios importantes en la función de aminoácidos ramificados, utilizándose para la obtención de energía con la afectación del proceso anabolizante y reparativo de las proteínas en el organismo y a su vez, con el incremento rápido a nivel sanguíneo de los productos finales proteicos. Todo ello, dando lugar a la limitación del rendimiento deportivo.

*La acción crónica* de estos mecanismos produce un desequilibrio hormonal a favor de los procesos catabólicos.

#### **4.3.4 Clasificación de la fatiga** <sup>18,27,28</sup>:

En la mayoría de los estudios publicados se clasifica bajo 2 aspectos: según la duración y según el lugar de aparición.

✓ *Según la duración:*

Aguda:

Se produce durante una sesión de entrenamiento, ésta puede ser local o global. Consiste en un sistema de protección orgánico ante el daño ocasionado por la propia contracción muscular, la cual puede estar acompañada de lesión del tejido muscular y cambios metabólicos.

Subaguda (sobrecarga):

Ocurre posterior a uno o varios ciclos intensos, con poca recuperación y acumulación de fatiga residual. Este tipo de fatiga bien planificado conduce a la supercompensación del entrenamiento, o en cambio, a ser patológica al pasar a fatiga crónica por un mal mecanismo de recuperación del deportista.

Crónica:

Aparece generalmente después de varios mesociclos (más de 4 semanas). Se produce cuando no existe una adecuada relación entre los diferentes componentes del entrenamiento y la recuperación, acumulándose así carga residual. Se diferencia de la subaguda en el cuadro de síntomas, la duración, la gravedad de los mismos y en el tiempo que se va a necesitar para su recuperación.

✓ *Según el lugar de aparición:*

Fatiga central:

Es debida a cambios que se producen en algún escalón del cerebro hasta la fibra muscular. Los nervios no se fatigan, pero sí, la sinapsis por el consumo del neurotransmisor químico (la acetilcolina), el cual se secretaría a un ritmo menor del necesario impidiendo la orden de contracción por el impulso nervioso a la placa motora. El músculo no responde al estímulo y deja de contraerse.

Fatiga periférica o fatiga muscular:

En este tipo de fatiga existe una deficiencia en la capacidad de trabajo de la fibra muscular, como consecuencia a un exceso previo de actividad física o la realización de un esfuerzo extenuante. Se produce una pérdida de la fuerza, retardo de la relajación o cambios en las características contráctiles.



#### **4.4 Ayudas ergogénicas nutricionales.**

Las ayudas ergogénicas nutricionales tienen como objetivo colaborar en mantener el equilibrio endocrino-metabólico, a predominio anabólico y evitar la depleción de substratos importantes, mediante el aporte de suplementos nutricionales, de una forma individualizada con un enfoque científico y saludable, y estando siempre alerta en la ingestión de sustancias prohibidas, también conocidas como dopaje<sup>22</sup>.

##### **4.4.1 Importancia de la ayuda ergogénica nutricional en el deporte.**

Según lo anterior, en el deporte de alta competición, la resultante metabólica de los productos finales del ejercicio va acompañada de una producción de radicales libres oxidativos, los cuales aumentan a medida que el trabajo es más intenso y prolongado.

Este incremento de RLO se respalda por la producción de agentes antioxidantes por el propio ejercicio realizado y aumentada por una adecuada relación de entrenamiento/descanso, con la producción endógena de agentes antioxidantes y una alimentación balanceada y saludable incorporando así antioxidantes exógenos<sup>29</sup>.

Sin embargo, en el deporte de competición, se dan situaciones en las que el descanso en relación con las cargas de entrenamiento es deficiente y la alimentación no cubre todas las necesidades nutricionales, dando lugar así a una acumulación de RLO y existiendo un predominio de Estrés Oxidativo Metabólico. Esta situación es favorecida si el deportista es fumador, ingiere bebidas alcohólicas, no duerme 8 horas o se encuentra estresado<sup>18</sup>.

Además de evitar un riesgo de fatiga muscular por la acumulación de RLO, la ingesta de calorías necesaria al realizar una alta intensidad de ejercicio diario de estos deportistas puede alcanzar de 600 a 12.000 kcal/día<sup>30-32</sup>. Por ello, a continuación citamos las ayudas ergogénicas nutricionales más determinantes para los deportistas de élite en la prevención de pérdida de masa muscular.

##### **4.4.2 Principales ayudas ergogénicas nutricionales en el deporte.**

#### **AGUA**

El correcto estado de hidratación es la ayuda ergogénica por excelencia. Prevenir la deshidratación durante el ejercicio es una de las tareas más útiles para mejorar el rendimiento del ejercicio. El ejercicio intenso puede significar una pérdida significativa de agua a través del sudor<sup>33</sup>.

Una pérdida de 2% de agua por el sudor puede poner en peligro la capacidad de competir y una pérdida de 4% puede dar lugar al enfriamiento del cuerpo por sí mismo.

Una adecuada manera para evitar la deshidratación es tomar 3 vasos de agua antes y después del ejercicio. Además, durante el ejercicio los deportistas deberán ingerir entre 1 a 2 litros de agua cada hora<sup>33-34</sup>.

### **Proteínas**

Actualmente, la dosis diaria recomendada de proteína en adultos sano es de 0.8g/k de peso corporal/día<sup>35</sup>. Este nivel de ingesta se estima que es suficiente para satisfacer las necesidades de casi todos los seres humanos adultos sanos que no realizan ejercicio físico. Sin embargo, se ha demostrado que no es suficiente para compensar la oxidación de los ácidos de proteínas/ aminoácidos durante el ejercicio, ni para la acumulación de tejido magro o para la reparación de daño muscular inducido por el ejercicio<sup>36-37</sup>.

Además, hay un riesgo real en el consumo de cantidades insuficientes de proteínas especialmente en el contexto de ejercicio. Es probable que se cree un balance negativo de nitrógeno, lo que da lugar a un aumento del catabolismo y deterioro de la recuperación del ejercicio facilitando así la aparición de fatiga muscular<sup>35,37</sup>.

Siempre ha existido una gran controversia entre si la ingesta por encima de 0.8g/kg de peso/día de proteínas da lugar a problemas renales. Sin embargo, existe una falta de evidencia científica que vincule la mayor ingesta de proteínas en la dieta a efectos adversos en personas sanas que ejercen ejercicio físico. En cambio, existen varios estudios que documentan un beneficio de la administración de suplementos de proteínas para la salud de múltiples sistemas de órganos. Por ello, la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva defiende una ingesta segura de 1,4 – 2,0 g/kg de peso corporal/día en individuos activos sanos<sup>38</sup>.

#### Protocolo de suplementación:

La recomendación de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva es que los individuos intenten obtener sus necesidades de proteínas a través de los alimentos. Si se ingieren suplementos, se recomienda que la proteína contenga componentes de suero y caseína debido a su alta digestibilidad y su capacidad de aumentar la creación de masa muscular<sup>38</sup>.

Se ha demostrado que la ingestión de 10g de proteínas rica en aminoácidos esenciales y fácilmente digeribles inmediatamente antes y después de la práctica del ejercicio resulta beneficiosa para aumentar la masa muscular, la recuperación después

del entrenamiento y el mantenimiento y la función inmune durante periodos de entrenamiento de alto volumen<sup>39,40</sup>.

### **Aminoácidos Ramificados (BCAA)**

Los aminoácidos de cadena ramificada (leucina, isoleucina y valina) constituyen aproximadamente un tercio de la proteína del músculo esquelético<sup>41</sup>. De estos tres, la leucina juega el papel más importante en la estimulación de la síntesis proteica<sup>42</sup>.

Al ingerir BCAA el balance proteico aumenta, ya sea disminuyendo la velocidad de degradación de las proteínas, el aumento de la tasa de síntesis o una combinación de ambos<sup>43,44</sup>. Se ha demostrado que los BCAA ingeridos durante el ejercicio físico disminuyen la tasa neta de la degradación de proteínas<sup>45</sup>. Además, la administración de BCAA antes y durante el ejercicio retrasa el agotamiento de glucógeno muscular en personas con reservas de glucógeno muscular reducidas<sup>46</sup>.

Durante el ejercicio físico prolongado aumenta la concentración de triptófano libre y la absorción de triptófano aumenta en el cerebro. Cuando esto ocurre, se produce 5-hidroxitriptamina (serotonina alias), la cual desencadena la sensación subjetiva de fatiga. Los BCAA son transportados en el cerebro por el mismo sistema portador que el triptófano y por lo tanto "competir" con triptófano que ser transportados en el cerebro. Por lo tanto, si los BCAA están presentes en el plasma en cantidades suficientes, disminuyen la absorción de triptófano en el cerebro y en última instancia disminuir los sentimientos de fatiga<sup>47,48</sup>.

#### Protocolo de suplementación:

Debido a que se ha demostrado que los BCAA ayudan en los procesos de recuperación del ejercicio; estimulando la síntesis de proteínas, la resíntesis de glucógeno muscular, retrasando la aparición de la fatiga y ayudando a mantener la función mental, la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva sugiere que la dosis diaria recomendada de BCAA sea algo más de 45mg/kg/día de leucina y algo más de 22,5 mg/kg/día de isoleucina y valina tomados antes, durante y después del ejercicio<sup>38</sup>.

### **Beta Hidroxi Metil Butirato**

HMB es un derivado de la leucina. Ha demostrado ser eficaz en entrenamiento con pesas para incrementar los resultados de fuerza y tener un impacto positivo sobre las ganancias de masa muscular<sup>49</sup>.

Existen estudios de calidad como el de de Knitter et al. in 2000 <sup>50</sup>, en el que se aseguró que HMB puede proteger contra el daño muscular después del entrenamiento. En el estudio, los individuos entrenados que tomaban HMB obtuvieron marcadores de daño muscular inferiores a los individuos que tomaban placebo. También existen otros estudios <sup>51,52</sup> aseguran la reducción de los marcadores de daño muscular tras el ejercicio.

Tras la demostración sobre la protección del daño muscular tras el ejercicio, el HMB es un protector frente a la aparición de la fatiga.

#### Protocolo de suplementación:

Según el documento de consenso de la Sociedad Internacional de Nutrición Deportiva, el HMB debe ser ingerido entre 1 y 2 gramos de 30 a 60 minutos antes del ejercicio<sup>53</sup>.

### **Creatina**

La creatina es un compuesto nitrogenado no proteico; esto es un compuesto que contiene nitrógeno, pero no es una proteína<sup>54</sup>. Se sintetiza en el hígado y páncreas a partir de los aminoácidos de arginina, glicina y metionina<sup>54-56</sup>.

La energía suministrada a refosforilar ADP a ATP durante y después del ejercicio intenso depende en gran medida de la cantidad de fosfato de creatina (PCr) almacenada en el músculo. A medida que las reservas de PCr se agotan durante el ejercicio intenso, la disponibilidad de energía disminuye debido a la incapacidad de resintetizar ATP <sup>57,58</sup> dando lugar a fatiga muscular.

Aproximadamente el 95% de la creatina en el cuerpo es almacenada en el músculo esquelético<sup>59,60</sup>. Alrededor de dos tercios de creatina se encuentran en el músculo esquelético como PCr, mientras que el resto se almacena como creatina libre<sup>59</sup>. El total de reserva de creatina (PCr + creatina libre) en el músculo esquelético es de aproximadamente 120 gramos en un individuo de 70kg. Sin embargo, la capacidad de almacenar media del ser humano es de 160 gramos de creatina según las condiciones <sup>55,58</sup>.

Las fuentes dietéticas de creatina incluyen carnes y pescado. Son necesarias grandes cantidades de este tipo de alimentos para intentar conseguir unos adecuados almacenes de creatina para la realización de un ejercicio físico intenso. La suplementación con creatina proporciona un medio barato y eficaz de incrementar la disponibilidad de la dieta de creatina sin exceso de grasa o ingesta de proteínas<sup>61</sup>.

La cantidad de aumento en el almacenamiento depende de los niveles de creatina del músculo antes de la suplementación. Aquellos individuos que consuman poca carne o pescado, son más propensos a experimentar un aumento del almacenamiento muscular de un 20-40%, mientras que aquellos con las reservas musculares relativamente altas, podrán aumentar el almacenamiento de un 10-20%<sup>62</sup>.

#### Protocolo de suplementación:

El protocolo de administración más descrito en la literatura es el referido “protocolo de carga”. Se caracteriza por la ingestión de aproximadamente 0,3g/kg de peso/día de creatina durante 5-7 días 30 minutos antes del ejercicio y 3-5 g/día a partir de entonces, tomado 30 minutos previos al ejercicio<sup>62-64</sup>. La investigación ha demostrado un 10-40% de incremento de las reservas de creatina muscular utilizando este protocolo<sup>65-66</sup>.

#### **Beta-alanina (β-ALA)**

La beta-alanina es un aminoácido de origen natural. Es uno de los precursores de carnosina junto con la L-histidina. Por lo tanto, la β-ALA es capaz de aumentar los niveles de carnosina intramuscular<sup>67</sup>.

Cuando los músculos esqueléticos están involucrados en un ejercicio moderado, se produce una generación de ácido láctico y la posterior disociación en lactato y H<sup>+</sup> que pueden alterar los niveles de pH<sup>68</sup>. La carnosina posee un pH (6,83) cercano al pH fisiológico de una persona sana (7,40-7,45); por ello, es utilizada como un amortiguador en el ejercicio de alta intensidad<sup>69</sup>.

Se ha demostrado que la suplementación crónica de beta-alanina mejora el rendimiento en el ejercicio de alta intensidad debido al incremento de carnosina muscular. Esto da lugar a una mejoraría del buffer intracelular<sup>70-72</sup>.

Un metaanálisis sobre la suplementación con beta-alanina<sup>73</sup> indicó que esta mejora la capacidad de ejercicio en actividades que duran de 60 a 240 segundos. Sin embargo, no mostró evidencia en aquellas que fueron inferiores a 60 segundos en las cuales la acidosis no se comportaba como un factor limitante del ejercicio.

#### Protocolo de suplementación:

El documento de consenso publicado en *Journal of the International Society of Sports Nutrition* sugiere una dosis de carga crónica de 4-6g/día siendo estos divididos en ingestas de 2 g o menos por un mínimo de dos semanas. Se ha demostrado que con

estas cantidades se consigue un aumento del 20-30% de las concentraciones de carnosina muscular<sup>74</sup>.

A partir de 6 g/día puede dar lugar a parestesia (hormigueos). Además, no es efectivo para los resultados de rendimiento esperados por los rápidos cambios de pH, una mayor tasa de excreción y la incapacidad para cargar con eficacia el contenido del músculo<sup>74</sup>.

### **Bicarbonato de sodio**

Debido a la rápida acumulación de protones (H<sup>+</sup>) y CO<sup>2</sup> durante el ejercicio anaeróbico de alta intensidad, una buena “amortiguación” en sangre y músculo es esencial. El compuesto principal para esta “amortiguación” es el ión bicarbonato (HCO<sup>-3</sup>)<sup>75</sup>.

El objetivo del bicarbonato de sodio es proporcionar un adecuado depósito de HCO, dando así una mayor capacidad de resistir la fatiga inducida por el cambio de pH en las células musculares<sup>76</sup>.

Estos estudios<sup>77,78</sup> han demostrado que la suplementación con bicarbonato de sodio puede estabilizar los cambios de pH en el ejercicio con una duración de 60 segundos a varios minutos y mejorar así el rendimiento.

#### Protocolo de suplementación:

Según el documento de consenso descrito en la *Journal of the International Society of Sports Nutrition* de la *International Society of Sport Nutrition*, el bicarbonato de sodio puede ser tomado antes del ejercicio o en una dosis de carga varios días antes de un evento.

- La dosis antes del ejercicio es de 0,3g/kg de peso corporal entre 60 y 90 minutos previos al ejercicio de bicarbonato de sodio.
- La dosis de carga de bicarbonato son 5g durante un período de 5 días, ingeridos preferiblemente durante las comidas y con abundante agua<sup>79</sup>.

### **Antioxidantes**

Según la información ofrecida anteriormente, el ejercicio anaerobio produce una gran cantidad de radicales libres oxidativos dando lugar a un estrés oxidativo<sup>18</sup>.

El estrés oxidativo produce daño muscular dando lugar a una alteración de las propiedades intrínsecas del músculo a través de alterar la bomba NA/K ATPasa, la

bomba calcio ATPasa del retículo sarcoplásmico, las proteínas contráctiles y los enzimas del metabolismo energético<sup>80</sup>.

Frente a la toxicidad del metabolismo aeróbico, la naturaleza ha dotado a los organismos que consumen oxígeno una serie de mecanismos antioxidantes. Podemos distinguir dos mecanismos; los antioxidantes enzimáticos y los antioxidantes no enzimáticos<sup>81</sup>.

- ✓ Los antioxidantes enzimáticos son endógenos y principalmente encontramos la superóxido dismutasa (SOD) que es una enzima que cataliza la dismutación del anión superóxido a O<sub>2</sub> y al menos reactivo H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.
- ✓ Los antioxidantes no enzimáticos pueden proceder o bien de la ingesta diaria de alimentos o del metabolismo. Los principales antioxidantes de la ingesta diaria son la vitamina C (frutas y vegetales), vitamina E (vegetales de hojas verdes, aceites vegetales y semillas), carotenos (frutos y verduras de color rojo o naranja) y flavonoides (vegetales y derivados: manzanas, cebollas, ajo, te, vino...).

Se ha demostrado mediante varios estudios que los suplementos antioxidantes mejoran los índices de estrés oxidativo. Por ello, la suplementación puntual y de forma aguda con antioxidantes en momentos en los que el estrés oxidativo es máximo es eficaz para evitar el daño tisular, previniendo así la aparición de fatiga muscular<sup>82</sup>.

#### Protocolo de suplementación:

Sobre las bases de los datos publicados, una dieta equilibrada que incluya una gran variedad de frutas, verduras, frutos secos y cereales, es el mejor protocolo de suplementación para mantener un estatus antioxidante óptimo<sup>83</sup>. Sin embargo, existen momentos de la temporada deportiva en donde megadosis de antioxidantes durante cortos periodos de tiempo ayudan a mantener el estado de contracción óptimo del músculo<sup>82</sup>.

### **Cafeína**

La cafeína es una de las ayudas ergogénicas más conocidas en el deporte. El consenso de los estudios muestra que la cafeína tiene un valor en el rendimiento en el ejercicio de resistencia, en ejercicio anaeróbico y en la recuperación del ejercicio<sup>84-86</sup>, lo que da lugar a una prevención de aparición de fatiga en el deportista.

La absorción de cafeína se produce rápidamente y luego se metaboliza. Es detectable a los 15 minutos de su ingesta, alcanzando los niveles máximos en 1 hora. Se elimina del sistema de 1 a 12 horas dependiendo del individuo<sup>84-86</sup>.

Además de la mejora del rendimiento, la cafeína ejerce una fuerte influencia sobre el sistema nervioso central y periférico dando un plus en la velocidad e intensidad del ejercicio. Al aumentar las concentraciones de beta-endorfinas, da lugar a una disminución de la percepción del dolor durante una actividad intensa, facilitando así la exigencia de ésta<sup>84-86</sup>.

La cafeína ahorra glucógeno muscular y desplaza el metabolismo hacia una mayor utilización de la grasa. Gracias a ello, la cafeína puede mejorar los resultados en los deporte de resistencia en los que la grasa es utilizada como sustrato energético<sup>86-88</sup>.

En un ejercicio de alta intensidad, la cafeína aumenta la producción de catecolaminas incrementando tanto la lipólisis como la glucogenolisis<sup>84-86</sup>. Esto junto con una mayor activación del sistema nervioso central, puede ser el mecanismo responsable de mejorar el rendimiento en esfuerzos de alta intensidad<sup>89</sup>.

Otra de las características que se han demostrado de la cafeína ha sido su efecto termogénico. La conclusión de este estudio fue que 100 mg de cafeína (lo equivalente a una taza de café) puede aumentar la termogénesis. Además, demuestran un incremento del 30% del nivel de ácidos grasos libre en la sangre los sujetos que fueron administrados de cafeína en comparación con el placebo, más de dos horas después del entrenamiento<sup>84-87</sup>.

#### Protocolo de suplementación:

El consumo de cafeína pura anhidra es diferente del de la ingesta de café. Mientras que la investigación sobre los beneficios en el rendimiento es bastante clara es el momento que hablamos de cafeína pura anhidra, no ocurre lo mismo con la ingesta de café<sup>84-86</sup>.

El consumo que ha resultado ser eficaz según el documento de consenso de la JISSN oscila entre 2 a 6mg/kg de peso corporal de cafeína pura anhidra ingerida de 15 a 60 min antes del entrenamiento dependiendo de los parámetros a mejorar en el rendimiento deportivo. Estando estas dosis alejadas de la dosis tóxica (9mg/kg peso corporal/día) lo que la convierte en una ayuda ergogénica nutricional segura<sup>90</sup>.



## 5 DISCUSIÓN

La eficacia de las ayudas ergogénicas nutricionales en el deporte presenta diferentes niveles de evidencia científica. Las que hemos expuesto, son aquellas que han demostrado no solamente una elevada eficacia en la prevención de la fatiga muscular ligada a un intenso desgaste físico; sino también que no poseen contraindicaciones tanto desde el punto de vista sanitario como legal (dopaje).

Durante la realización de este trabajo hemos analizado la eficacia de las distintas ayudas ergogénicas nutricionales individualmente. Sin embargo, también es necesario conocer su eficacia actuando conjuntamente unas con otras; por ello, hemos revisado diferentes estudios<sup>91-94</sup> en los que se combinan los protocolos de suplementación de diferentes ayudas ergogénicas nutricionales citadas anteriormente. En ellos se demuestra un aumento del rendimiento y del almacenamiento en búffer de protones siendo así posible la prevención de fatiga muscular en deportistas.

Al demostrarse la reducción de los marcadores de daño muscular en la aparición de la fatiga con las ayudas ergogénicas nutricionales que hemos descrito, fundamentamos la necesidad de ingerirlas con un adecuado protocolo de suplementación prescrito individualmente a las características de cada deportista. Para ello, resulta imprescindible conocer los mecanismos de acción, interacciones, efectos secundarios, indicaciones y contraindicaciones de cada una de ellas.

Las ayudas ergogénicas nutricionales tanto en el ámbito deportivo como fuera de él, están adquiriendo cada vez más importancia en la sociedad. Sin embargo, no existen a fecha de hoy demasiados trabajos concluyentes sobre el tema. Por ello, es conveniente la realización de estudios clínicos suficientemente significativos que avalen la eficacia de estos productos.

## 6 CONCLUSIONES

1. El conocimiento del sistema energético que se está utilizando durante la práctica de ejercicio físico es básico. De esta forma, averiguaremos cuales son los sustratos de donde se está obteniendo la energía y se podrá así reponer al organismo con las ayudas ergogénicas nutricionales adecuadas en esas circunstancias.
2. Es imprescindible una correcta valoración de la composición corporal del deportista dado que es uno de los criterios más válidos para la evaluación de su fatiga muscular.
3. La antropometría ha demostrado ser una correcta técnica para conocer la composición corporal que poseen los deportistas.
4. El elevado estado de estrés oxidativo experimentado en deportistas durante largos periodos de tiempo está asociado con la aparición de fatiga periférica. Esta a su vez, da lugar a una pérdida de masa muscular con la consecuente disminución del rendimiento deportivo.
5. La ingesta complementaria de las ayudas ergogénicas nutricionales descritas anteriormente además de prevenir la aparición de fatiga periférica, actúa en los mecanismo de recuperación muscular y en la resíntesis proteica de deportistas.
6. Es necesaria la realización de estudios clínicos significativos que avalen la eficacia de las ayudas ergogénicas nutricionales en el mundo del deporte.

## 7. BIBIOGRAFÍA

1. Palacios N, Manonelles P, Blasco R, Bonafonte LF, Gaztañaga T, Manuz B. Ayudas ergogénicas nutricionales para las personas que realizan ejercicio físico. Federación Española de Medicina del Deporte; 2012.Volumen XXIX. Suplemento 1. 8-10.
2. González González JC. Ayudas ergogénicas y nutricionales. Badalona (España): Ed. Paidotribo; 2006. 19.
3. González Gallego J, Sánchez Collado P, Mataix Verdú J. Nutrición en el deporte. Ayudas ergogénicas y dopaje. España: Ediciones Díaz de Santos;2006. 147-152.
4. López Chicharro J, Fernández Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3ª Ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana S.A; 2008. 212-217.
5. Ortega Sánchez-Pinilla R. Medicina del ejercicio físico y del deporte para la atención a la salud. Madrid: Ediciones Díaz de Santos; 1992. 13-19.
6. Wang, Z.; Heshka, S.; Pierson, R.N. y Heymsfield, S.B. Systematic organization of body-composition methodology: an overview with emphasis on component-based. Am J Clin Nutr 1995; 61: 457-465.
7. Martin, A.D.; Spent, L.F.; Drinkwater, D.T. y Clarys, J.P. Anthropometric estimation of muscle mass in men. Med Sci Sports Exerc; 1990; 729-733.
8. Martin, A.D.; Drinkwater, D.T.; Spent, L.F. y Clarys, J.P. Cadaver-validated estimation of muscle mass in men. In Sports, medicine and health. Proceedings of the XXIV World Congress of Sports Medicine. Amsterdam: G.P.H. Hermans y W.L. Mosterd editors; 1990. 671-676
9. Spent, L.F.; Martin, A.D. y Drinkwater, D.T. Muscle mass of competitive male athletes. J Sports Sci; 1993; 3-8.
10. Buskirk, E.R. y Méndez. J. Sports science and body composition analysis: emphasis on cell and muscle mass. Med Sci Sports Exerc; 1984; 584-593.
11. Drinkwater, D.T. y Ross, W.D. Anthropometric Fractionation of body Mass. In Internacional Series on Sport Sciences, Vol. IX: Kinanthropometry II; 1980. 178-189.
12. Cabañas Armesilla, M.D. y Esparza Ros, F. Compendio de cineantropometria. Madrid: CTO Editorial. 2009.

13. Porta, J., Galiano, D., Tejado, A. y González de Suso, J.M. Valoración de la composición corporal. Manual de cineantropometría. Pamplona: Esperanza, F. (Ed). 1993; 113-170
14. Faulkner, J. Physiology of swimming. Baltimore: Academic Press; 1968.
15. Alvero Cruz, J.R., Cabañas Armesilla, M.D., Herrero de Lucas, A., Martínez Riaza, L., Moreno Pascual, C., Manzanido, J.P et al. Body Composition Assessment In Sport Medicina. Statement of Spanish Group of Kinanthropometry of Spanish Federation of Sports Medicine: 2009; Volumen XXVI. 131: 166-179.
16. Portao, J., Bescós, R., Iruña, A., Cacciatori, E., Vallejo, L. Assessment of body fat in physically active young people: anthropometry vs bioimpedance. Nutr Hosp; 2009: 529-534.
17. Porta, J., Bescós, R., Vallejo, L. The Anthropometric Method Versus Different Bia Systems to Estimate Fat in Athletes. Archivos de Medicina del Deporte; 2009: 187-193
18. Pancorbo Sandoval, A.R. Cuadernos de Psicología del Deporte: Diagnóstico y Prevención de la fatiga crónica o el síndrome de sobreentrenamiento en el deporte de alto rendimiento. Una propuesta de mecanismos de recuperación biológica. Brasil: 2003
19. Fernández García, B., Terrados Cepeda, N. La fatiga deportiva: Sobrecarga y Sobreentrenamiento. Máster en Alto Rendimiento, COE: 1993.
20. Astrand, P.O., Rodahl, K. Fisiología del Trabajo Físico. Ed Médica Panamericana; 1995.
21. Bove, A.A., Lowenthal, D.T. Medicina del ejercicio, principios patológicos y aplicaciones clínicas: trastornos endocrinos-metabólicos y ejercicio físico. Buenos Aires. Ed: El Alteneo; 1987: 277-291.
22. Lamb, D.R. Fisiología del ejercicio. Ed: Augusto Pila, 2da edición; 1989: 21-301.
23. Marín Fernández, B. Dependencia psicofisiológica del ejercicio. Energía, Nutrición y Rendimiento. Ed. Alianza: 1990.
24. McArdle, D.M., Katch, F.L., Katch, V.L. Fisiología del ejercicio. Energía, Nutrición y Rendimiento. Ed. Alianza; 1990.
25. Monod, H., Flaudrosis, R. Manual de Fisiología del Deporte. Ed. Masson; 1986.

26. Stone, N.H. et al. Overtraining. A review of the Signs, Symptoms and Possible Causes. *J. Appl. Sports Sci Res*; 1991: 35-50.
27. Fry, R., Morton, A.R. Kerts, D. Overtraining in Athletes. *Sports Medicine*; 1991: 32-65.
28. Marín Fernández, B. El Sobreentrenamiento del deportista. Capítulo del Libro *Olimpismo y Medicina Deportiva*. Ed. Santonja; 1996: 159-174.
29. Pancorbo Sandoval, A.E. *Medicina del Deporte y Ciencias Aplicadas al Alto Rendimientos y la Salud*. Brasil. Editora Universidad Caxias do Sul; 2002.
30. McArdle, W., Katch, F., Katch, V. *Exercise physiology: energy, nutrition y human performance*. Baltimore. Ed: Lippincott, Williams y Wilkins; 2007.
31. Scott, C. *A primer for the exercise and nutrition sciences*. Gorham. Ed: Humana Press; 2008.
32. Kreider, R.B., Wilborn, C.D., Taylor, L. et al. ISSN exercise and sport nutrition review: research and recommendations. *J Int Soc Sports Nutr*; 2010: 7-50.
33. Maughan, R.J., Noakes, T.D. Fluid replacement and exercise stress. A brief review of studies on fluid replacement and some guidelines for the athlete. *Sport Med*; 1991: 16-31.
34. Kovacs, E.M., Schmahl, R.M., Senden, J.M. et al. Effect of high and low rates of fluid intake on post-exercise rehydration. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*; 2002: 14-23.
35. Institute of Medicine of the National Academies. *Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids (macronutrients)*. Washington, DC, National Academies Press; 2002.
36. Joint Position College of Sports Medicine, American Dietetic Association, and Dietitians of Canada. *Med Sci Sports Exerc*. 2000; 2130-2145
37. Tarnopolsky M. Protein requirements for endurance athletes. *Nutrition*. 2004; 662-668
38. Campbell, B., Kreider, R., Ziegenfuss, T., La Bounty. P., Roberts, M., Burke, D. et al. International Society of Sports Nutrition position stand: protein and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*; 2007

39. Bounous, G., Bastist, G., Gold, P. Immunoenhancing property of dietary whey protein in mice: role of glutathione. *Ain Invest Med*; 1989: 154-161
40. Bounous G, Kongshavn PA, Gold P: The immunoenhancing property of dietary whey protein concentrate. *Clin Invest Med*; 1988: 271-278.
41. Mero, A. Leucine supplementation and intensive training. *Sports Med*; 1999: 347-358.
42. Kimball, S.R., Jefferson, L.S. Signaling pathways and molecular mechanisms through which branched-chain amino acids mediate translational control of protein synthesis. *J Nutr*; 2006: 227-231.
43. Louaud, R.J., Barrett, E.J., Gelfand, R.A. Effect of infused branched-chain amino acids on muscle and whole-body amino acid metabolism in man. *Ain Sci (Lond)*; 1990: 457-466.
44. Blomstrand, E., Eliasson, J., Karlsson, HK., Kohnke, R. Branched-chain amino acids activate key enzymes in protein synthesis after physical exercise. *J Nutr*; 2006: 269-273.
45. Blomstrand, E., Newsholme, EA. Effect of branched-chain amino acid supplementation on the exercise-induced change in aromatic amino acid concentration in human muscle. *Acta Physiol Scand*; 1992: 293-298.
46. Blomstrand, E., Ek, S., Newsholme, EA. Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on plasma and muscle concentrations of amino acids during prolonged submaximal exercise. *Nutrition*; 1996: 485-490.
47. Blomstrand, E. A role for branched-chain amino acids in reducing central fatigue. *J Nutr*; 2006: 544-547.
48. Newsholme, EA., Blomstrand, E., Ekblom, B. Physical and mental fatigue: metabolic mechanisms and importance of plasma amino acids. *Br Med Bull*; 1992: 477-495.
49. Jade Teta, ND., CSCS, Keoni Teta, ND., LAc. *Sports Nutrition*; 2013: 537.
50. Knitter, AE., Panton, L., Rathmacher, JA., et al. Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle damage after a prolonged run. *J Appl Physiol*; 2000: 1340-1344.

51. Wilson, JM., Lowery, RP., Joy, JM., Walters, JA., Baier, SM., Fuller, JC. et al. Beta-Hydroxy-beta-methylbutyrate free acid reduces markers of exercise-induced muscle damage and improves recovery in resistance-trained men. *Br J Nutr*; 2013: 1-7.
52. Knitter, AE, Panton L, Rathmacher, JA, Petersen, A, Sharp R: Effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle damage after a prolonged run. *J Appl Physiol*; 2000: 340–1344.
53. Wilson, JM., Fitschen, PJ., Campbell, B., Wilson, GJ., Zanchi, N., Taylor, L. et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB). *Journal of the International Society of Sports Nutrition*; 2013: 10:6
54. Brunzel, NA. Renal function: Nonprotein nitrogen compounds, function tests, and renal disease. In *Clinical Chemistry* Edited by: Scardiglia J, Brown M, McCullough K, Davis K. McGraw-Hill: New York, NY; 2003: 373-399.
55. Greenhaff, P. The nutritional biochemistry of creatine. *J Nutr Biochem*; 1997: 610-618.
56. Paddon-Jones, D., Borsheim, E., Wolfe, RR. Potential ergogenic effects of arginine and creatine supplementation. *J Nutr*; 2004: 2888-2894.
57. Chanutin, A. The fate of creatine when administered to man. *J Biol Chem*; 1926: 29-34.
58. Hultman, E., Bergstrom, J., Spreit, L., Soderlund, K. Energy metabolism and fatigue. In *Biochemistry of Exercise VII* Edited by: Taylor A, Gollnick PD, Green H. Human Kinetics. Champaign, IL; 1990: 73-92.
59. Balsom, PD., Soderlund, K., Ekblom, B. Creatine in humans with special reference to creatine supplementation. *Sports Med*; 1994: 268-80.
60. Hultman, E., Soderlund, K., Timmons, JA., Cederblad, G., Greenhaff, PL. Muscle creatine loading in men. *J Appl Physiol*; 1996: 232-237.
61. Buford, TW., Kreider, RB., Stout, JR., Greenwoog, M., Campbell, B., Spano, M. et al. International Society of Sports Nutrition position stand: creatine supplementation and exercise. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*; 2007.

62. Kreider, RB. Creatine in Sports. In *Essentials of Sport Nutrition & Supplements* Edited by: Antonio J, Kalman D, Stout J, et al. Humana Press Inc. Totowa, NJ; 2007 in press.
63. Williams, MH., Kreider, R., Branch, JD: *Creatine: The power supplement*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers; 1999: 252.
64. Greenhaff, PL., Casey, A., Short, AH., Harris, R., Soderlund, K., Hultman, E: Influence of oral creatine supplementation on muscle torque during repeated bouts of maximal voluntary exercise in man. *Clin Sci (Colch)*; 1993: 565-571.
65. Greenhaff, PL., Bodin, K., Soderlund, K., Hultman E: Effect of oral creatine supplementation on skeletal muscle phosphocreatine resynthesis. *Am J Physiol*; 1994: 25-30.
66. Kreider, RB., Leutholtz, BC., Greenwood, M: *Creatine*. In *Nutritional Ergogenic Aids* Edited by: Wolinsky I, Driskel J. CRC Press LLC: Boca Raton, FL; 2004: 81-104.
67. Stout, J.R., Cramer, J.T., Zoeller, R.F., Torok, D., Costa P., Hoffman J.R. et al. Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids*; 2007: 381–386.
68. Beaver, W.L., Wasserman, K., Whipp, B.J. Bicarbonate buffering of lactic acid generated during exercise. *J. Appl. Physiol*; 1986: 472–478.
69. Hultman, E., Sahlin, K. Acid-base balance during exercise. *Exerc. Sports Sci. Rev*; 1980: 41–128.
70. Culbertson, JY., Kreider, RB., Greenwood, M., Cooke, M. Effects of beta-alanine on muscle carnosine and exercise performance: a review of the current literature. *Nutrients*; 2010: 75–98.
71. Skulachev, VP. Biological role of carnosine in the functioning of excitable tissues. Centenary of Gulewitsch's discovery. *Biochemistry (Mosc)*; 2000: 749–750.
72. Culbertson, JY., Kreider, RB., Greenwood, M., Cooke, M: *Effectos of Beta-Alanine on Muscle Carnosine and Exercise Performance: A Review of the Current Literature*. *Nutrients*; 2010: 75-98.
73. Hobson, RM., Saunders, B., Ball, G., Harris, RC., Sale, C. Effects of beta-alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids*; 2012: 25–37.



74. Trexler, E.T., Smith-Ryan, A.E., Stout, JR., Hoffman, JR., Wilborn, CD., Sales, C. et al. International society of sports nutrition position stand: Beta-Alanine. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*; 2015.
75. McNaughton, L., Thompson, D. Effects of chronic bicarbonate ingestion on the performance of high-intensity work. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*; 1999: 333-336.
76. Kraemer, WJ., Gordon, SE. Lynch, JM. et al. Effects of multibuffer supplementation on acid-base balance and 2,3 diphosphoglycerate following repetitive anaerobic exercise. *Int J Sport Nutr*; 1995: 300-314.
77. Matson, LG., Tran, ZN. Effects of sodium bicarbonate ingestion on anaerobic performance. *Int J Sports Nutr*; 1993: 2-28.
78. Lindh, AM., Peyrebrune, MC., Ingham, SA. et al. Sodium bicarbonate improves swimming performance. *Int J Sports Med*; 2008: 519-523.
79. Kreider, RB., Wilborn, CD., Taylor, L., Campbell, B., Almada, AL., Collins, R., Cooke, M. et al. ISSN exercise and sport nutrition review: research and recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*; 2010.
80. Xu, KY., Zweier, JL., Becker, LC. Oxygen-free radicals directly attack the ATP binding site of the cardiac Na/K-ATPase. *Ann NY Acad Sci*; 1997: 680-3.
81. Matés, JM., Pérez-Gómez, C., Núñez de Castro, I. Antioxidant enzymes and human diseases. *Clinical Biochemistry*; 1999: 595-603.
82. Blasco Redondo, R. Los suplementos antioxidantes en el rendimiento físico. Revisión de la evidencia. *Nutrición Clínica en Medicina*; 2009: 67-81.
83. Karl-Heinz, W. Antioxidants in Sport Nutrition. All the Same Effectives? Boca Raton (FL). Lamprecht M, editor; 2015.
84. Davis, MS., Green, JM. Caffeine and anaerobic performance: ergogenic value and mechanism of action. *Sports Med*; 2009: 813-832.
85. Gano, MS., Klau, JF., Casa, DJ. et al. Effect caffeine on sport-specific endurance performance; a systematic review. *J Strength Conditioning Res*: 2009; 315-324.
86. Goldstein, ER., Ziegenfuss, T., Kalman, D. et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *J Int Soc Sports Nutr*; 2010: 5-20.

87. Ivy, JL., Costill, DI., Fink, WJ. et al. Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med Sci Sports Exerc*; 1979: 6-11.
88. Yeo, SE., Jentjens, RL., Wallis, GA., et al. Caffeine increases exogenous carbohydrate oxidation during exercise. *J App Physiol*; 2005: 844-850.
89. Schneiker, KT., Bishop, D., Dawson, B. et al. Effects of caffeine on prolonged intermittent-sprint ability in team-sport athletes. *Med Sci Sport Exerc*; 2006: 578-585.
90. Goldstein, ER., Ziegenfuss, T., Kalman, D., Kreider, R., Campbell, B., Wilborn, C. et al. International society of sports nutrition position stand: caffeine and performance. *Journal of the Internattional Society of Sport Nutrition*; 2010.
91. Solis, MY., Cooper, S., Hobson, RM., Artioli, GG., Otaduy, MC., Roschel H. et al. Effects of Beta-alanine supplementation on brain homocarnosine/carnosine signal and cognitive function: an exploratory study. *PLoS One*. 2015.
92. Sale, C., Saunders, B., Hudson, S., Wise, JA., Harris, RC., Sunderland, CD. Effect of beta-alanine plus sodium bicarbonate on high-intensity cycling capacity. *Med Sci Sports Exerc*: 2011.
93. Tobias, G., Benatti, FB., de Salles, PV., Roschel, H., Gualano, B., Sale, C., et al. Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upperbody intermittent performance. *Amino Acids*; 2013: 309–317.
94. de Salles, PV., Roschel, H., de Jesus, F., Sale, C., Harris, RC., Solis, MY. et al. The ergogenic effect of beta-alanine combined with sodium bicarbonate on high-intensity swimming performance. *Appl Physiol Nutr Metab*; 2013: 525–532.